

Matti Holma

Sovellusohjelman laatiminen LVIA-suunnitteluprosessin kehittämiseksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

16.5.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Matti Holma Sovellusohjelman laatiminen LVIA-suunnitteluprosessin kehittämiseksi 68 sivua + 5 liitettä 16.5.2017
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	talotekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	LVI
Ohjaajat	toimitusjohtaja Pasi Hallasaari yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Opinnäytetyön aiheena oli laatia helsinkiläiselle suunnittelu- ja konsulttipalveluita tarjoavalle yritykselle laskentasovellus, jolla suoritetaan LVI-suunnitteluprosessiin liittyviä laskentatoimenpiteitä. Projektissa päätavoitteena oli kartoittaa yrityksen suunnitteluprosessissa esiintyviä laskentatoimenpiteitä, joita voitaisiin tehostaa laskentasovelluksella. Tavoitteena oli myös tunnistaa laskentatoimenpiteille yhteneväisiä lähtötietoja, sekä laatia sovellusohjelmasta toimiva ohjelmistokokonaisuus, jossa on käyttäjäystävällinen käyttöliittymä tarvittavine ohjetiedostoineen.</p> <p>Suunnitteluprosessissa esiintyviä, korkean tehostamispotentiaalin omaavia laskentatoimenpiteitä kartoitettiin yrityksen suunnittelijakunnalla teetetyllä kyselytutkimuksella. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa selvitettiin yleisimmät laskentatoimenpiteet, joihin suunnittelijakunta kaipasi laskentavälinettä. Kyselytutkimuksen tulokset käsiteltiin yrityksen johdon kanssa. Kyselytutkimuksen ja johdon aikaisemmin tunnistamien tehostamistarpeiden perusteella valittiin sovellusohjelman kattamat laskentatoimenpiteet. Sovellusohjelman toiminta-alueeksi rajattiin sähkötilojen LVI-järjestelmien mitoittamiseen liittyvät laskentatoimenpiteet.</p> <p>Työn tuloksena syntyi LVI-suunnittelutoimistolla toimiva laskentasovellus, joka automatisoi suunnitteluprosessissa toistuvia laskentatoimenpiteitä. Laskentasovellus laadittiin Microsoft Excel ja Visual Basic for Applications (VBA) -ympäristöön. Sovelluksella on toimintoja, jotka suoritetaan Autocad käyttöliittymän puolella. Sovelluksen laadinnassa hyödynnettiin VBA ohjelmointia, sekä Excelin valmiita funktioita ja taulukkolaskentaominaisuuksia.</p> <p>Työn aikana sisäistettiin VBA -ohjelmointikieltä, jota hyödynnetään tulevilla projekteilla. Lisäksi työn yhteydessä dokumentoitiin sähkötilojen LVI-järjestelmien ratkaisuja ja mitoitusperiaatteita.</p>	
Avainsanat	VBA, Visual Basic, Excel, ilmastointiprosessit, sähkötilat

Author Title Number of Pages Date	Matti Holma Developing an application software for HVAC system design calculations. 68 pages + 5 appendices 16 May 2017
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructors	Pasi Hallasaari, Managing director Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The subject of this final year project was to develop a software application for a company offering HVAC design and consulting services. The main purpose was to determine calculation procedures that appear frequently in HVAC design projects and that could be made more efficient with the application. Another purpose was to identify some basic data that is common in HVAC calculations, and to develop the software to perform common calculations.</p> <p>The calculation procedures with intensification potential were defined by a qualitative survey. Lead engineers in the company also noted procedures that should be included in the software. On the basis of these, it was decided that the software should calculate and size the HVAC systems serving electric power distribution facilities. The calculation software was set to run in the Microsoft Excel spreadsheet environment, making use of Visual Basic for Applications (VBA) programming.</p> <p>The result of the final year project is a software application to automatically perform some reoccurring calculations when designing building services. Such software gives great benefit to the design process of the enterprise, in the form of efficiency and reliability of the calculations.</p>	
Keywords	VBA, Visual Basic, Excel, electric facilities, air conditioning

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Projektin taustaa	2
1.2	Projektin tavoitteet ja metodit	3
1.3	Projektin rajaus	4
2	Yrityksen nykyiset LVIA-laskentakäytännöt	5
2.1	Yksinkertaiset Excel-taulukot, ruutupaperilaskelmat ja Autocad-taulukot	5
2.2	Älykkäät laskentataulukot	6
2.3	Yrityksen käyttämät laskentatyövälineen laadunhallinnan näkökulmasta	7
3	Toimeksiantajan suunnitteluprosesseissa toistuvat laskentatoiminnot	9
3.1	Laskentatoimintoja koskeva kyselytutkimus	9
3.2	Kategoria 1:n sisältämät toimenpiteet	11
3.3	Kategoria 2:n sisältämät toimenpiteet	12
3.4	Kategoria 3:n sisältämät toimenpiteet	12
3.5	Kategoria 4:n sisältämät toimenpiteet	13
3.6	Kategoria 5:n sisältämät toimenpiteet	13
4	Laskentasovelluksen käyttökohteet	14
4.1	Laskentasovellus ja toimiston muut ohjelmistot	14
4.2	Olemassa olevat LVI-laskentasovellukset	15
4.3	Sovelluksen toiminta-alueen rajaus	16
4.4	Sähkön käyttö ja tuotanto petrokemianteollisuudessa	18
4.5	Sähkö- ja automaatiolaitetilat teollisuudessa	19
5	Sähkö- ja automaatiolaitetilojen LVI-järjestelmät ja lähtöarvot	21
5.1	Suunnitteluperusteet	21
5.2	Sähkö- ja automaatiolaitetilojen paineistus	21
5.3	Akkutilojen paineistus	22
5.4	Sähkö- ja laitetilojen jäähdytys	23
5.5	Sähkö- ja laitetilojen lämmitys	27
5.6	Sähkö- ja laitetilojen palonsammutusjärjestelmät	28
6	LVIA-laskentasovelluksen alusta ja graafinen toteutus	30
6.1	Laskentasovellukset ja taulukkolaskenta LVI-suunnittelussa	30
6.2	Sovellusalustan valinta	30

6.3	Graafinen toteutus	34
7	Laskentaohjelman laskentaprosessit	36
7.1	Ylipaineistus ja kiertoilmamäärät	36
7.2	Ilmavirtojen sekoitus	38
7.3	Ilman tiheys	39
7.4	Ilman absoluuttinen kosteus ja entalpia	41
7.5	Tilaan puhallettavan tuloilman lämpötila ja lämmityspatterin tehontarve	43
7.6	Hiilidioksidipalonsammutus	44
8	Laskentasovelluksen toteutus	49
8.1	Sovellusohjelman käyttöönotto ja tarvittavat määritykset	49
8.2	Laskentasovelluksen etulehti	52
8.3	Laskentasovelluksen tilakohtainen lähtötieto- ja laskentalomake	57
8.4	Piilotetut Excel-solut ja summasarakkeet	65
8.5	Hiilidioksidipalonsammutusjärjestelmän mitoitus	65
9	Yhteenveto	67
	Lähteet	69
	Liitteet	
	Liite 1. Yrityksessä suoritettujen kyselytutkimusten vastaukset	
	Liite 2. Kyselytutkimuksen vastaukset jaoteltuna toimenpiteiden mukaisesti	
	Liite 3. LVI-Laskentasovelluksen etulehti	
	Liite 4. Tilakohtainen tietojensyöttölomake	
	Liite 5. Tilakohtaisten laskentataulukoiden tuloste	

Lyhenteet ja käsitteet:

Autocad	Autodeskin tuottama CAD-ohjelma.
Autodesk	Amerikkalainen ohjelmistotuottaja.
CAD	" <i>Computer Aided Design</i> ", tietokoneavusteinen suunnittelu.
CEA	Comité Européen des Assurances, Euroopan vakuutus- ja jälleenvakuutusalan keskusliitto.
Excel	Microsoft Excel, taulukkolaskentaohjelmisto.
Iteratiivinen sovelluskehitysmalli	Sovelluskehitysmalli, jossa useita kehitysprosessin vaiheita suoritetaan samanaikaisesti. Ohjelmaa ei suunnitella täysin valmiiksi, vaan toteutuneet osiot ohjaavat seuraavien osien suunnittelua.
Lineaarinen sovelluskehitysmalli	Suoraviivaisesti etenevä sovelluskehitysmalli, jossa tuotteen kehitys etenee vaihe kerrallaan suunnittelusta testaukseen.
.NET	Ohjelmistokomponenttikirjasto, joka tukee esim. VB.Net ohjelmointikieltä.
PSK	PSK Standardisointiyhdistys ry, aikaisemmin Prosessiteollisuuden Standardoimiskeskus.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
VB	Visual Basic, ohjelmointikieli, viimeisin versio VB.NET.
VBA	Visual Basic for Applications, ohjelmointikieli, VB:n sovellus jota suoritetaan muiden sovellusten käyttöliittymästä.

1 Johdanto

Työ laaditaan Metropolia Ammattikorkeakoulun LVIA-tekniikkaan suuntautuvan talo-tekniikan koulutusohjelman (YAMK) opinnäytetyönä yhteistyössä LVIA-suunnittelu-toimiston kanssa. Työn tilaajayritys, Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy, on vuonna 1983 perustettu LVIA-suunnittelutoimisto. Yrityksen tuote- ja palvelutarjontaan kuuluvat erilaisten LVIA-järjestelmien suunnittelu- ja toteutusvaiheen valvonta. Suunnittelu- ja valvontapalveluiden ohella toimisto tarjoaa myös LVIA-rakennuttamispalveluita sekä LVIA-järjestelmiin liittyviä selvityksiä ja katselmuksia. (1.)

Yrityksen ydintuote on teollisuuskohteiden LVIA-suunnittelu. Suunnittelutoimistolle on tärkeää taata asiakkaalle laadittujen suunnitelmien korkealaatuisuus. Lopputuotteen korkealaatuisuuden takaamiseksi tulee suunnittelutyön olla tuotteistettu suunnitteluprosessi.

Suunnitteluprosessi koostuu yhdestä tai useammasta tehtäväkokonaisuudesta tarveselvityksen ja käyttöönoton jälkeisen takuuajan välillä. Hankkeen alkuvaiheilla suunnittelutehtävät keskittyvät luetteloiden, alustavien laskelmien ja ratkaisuiden määrittämiseen. Hankkeen edetessä täsmennetään laskelmia ja suunnitelmia, kunnes toteutusvaiheessa suunnitelmat toteutetaan asennettujen järjestelmien muodossa. (2, s. 1–2.) Laskelmat ovat olennainen osa suunnitteluprosessia hankesuunnitteluvaiheen alustavista arvioista lähtien aina toteutussuunnitelmiin tarkennettuihin lopullisiin tuloksiin asti.

Suunnitteluprosessin laskentaosuus erottautuu prosessista virheherkkänä osalueena. Virheherkkyys johtuu suurelta osin laskentavaiheen tarkkuutta ja huolellisuutta vaativasta mekaanisesta luonteesta. Laskentaosuudessa suoritettavat virheet, kuten virheellisiin laitevalintoihin johtavat laskelmat, aiheuttavat projektille taloudellista ja aikataulullista haittaa. Laskentavaiheen virheet saattavat olla vielä projektin toteutusvaiheessakin hankalasti havaittavia. Pahimmassa tapauksessa virheet tulevat esiin vasta käyttöönoton yhteydessä, kun tavoiteolosuhteita ei saavuteta.

Opinnäytetyön aiheena on asiakasprojekteihin liittyvän suunnitteluprosessin laskentaosuuden tuottavuuden ja tasalaatuisuuden parantaminen. Suunnitteluprosessin laskentaa varten laaditaan työvälineeksi sovellusohjelma, jolla laskentaosuutta projekteissa tullaan jatkossa suorittamaan.

1.1 Projektin taustaa

Olen laatinut AMK-insinööriopintojeni opinnäytetyönä ISO-9001:2000 -standardiin perustuvan laadunhallintajärjestelmän Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy:lle. Laadunhallintajärjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2007. Laadunhallintajärjestelmän tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman tasalaatuista, odotusten mukaista tuotetta. Lopputuotteen laadun takaamiseksi, järjestelmä edellyttää kontrolloituja toimintamalleja suunnitteluprosessin läpiviemisessä. Opinnäytetyöni tuloksena yritys on käyttöönottanut toimintamalleja liittyen prosessin eri vaiheisiin ja toimintatapoihin.

Suunnitteluprosessi on laadunhallintajärjestelmän lanseeraamisen jälkeen muuttunut. Teknologia ja suunnitteluohjelmistot ovat kehittyneet, henkilöstö on vaihtunut ja uusia toimintatapoja on syntynyt. Yrityksen suunnitteluprosessissa on havaittavissa potentiaalista tehostamismahdollisuutta sekä tarvetta suunnittelukäytäntöjen laajamittaiselle yhtenäistämiseksi ja päivittämiseksi.

Suunnitteluprosessin tuotteistamisen ja tehostamisen tarve on tunnistettu yrityksessä jo aiemminkin. Vuonna 2012 Ville Sipola laati AMK-insinööriopintojen opinnäytetyönä erillisiä Excel-laskentataulukkoita LVI-järjestelmien laskentaa tukemaan. Sipolan laatimien älykkäiden taulukoiden käyttäminen on askel yrityksen tavoittelemaan prosessinomaiseen LVI-suunnittelun laskentamalliin. Taulukot ovat kaikki erillisiä tiedostoja ja jokainen taulukko on kohdennettu täsmällisesti yksittäisiin laskentatoimenpiteisiin.

Sipola toteaa opinnäytetyönsä yhteenvedossa, että jo opinnäytetyön aikana oli noussut esiin erilaisia parannusehdotuksia ja uusien laskentatoimintojen tarpeellisuutta pitäisi arvioida jatkuvasti (3, s. 48). Toimiston suunnittelijakunta on esittänyt toiveita ja aloitteita pidemmälle kehitetystä laskentasovelluksesta ja uusista älykkäistä laskentataulukkoista. Tämän opinnäytetyön yhteydessä laadittava sovellusohjelma toimii jatkumona aikaisempien opinnäytetöiden aloittamalle kehitystyölle.

1.2 Projektin tavoitteet ja metodit

Projektin tarkoituksena on laatia sovellusohjelma, jolla tietoja syöttämällä suoritetaan yrityksen LVIA-suunnittelussa toistuvia laskentatoimenpiteitä. Ensimmäinen päätavoite on tunnistaa toimeksiantajan LVIA-suunnitteluprosessissa toistuvia laskentatoimintoja, joiden suorittamiseen tulisi kehittää työvälineitä. Tunnistetuista kehitystarpeista laaditaan kehityskohdeluettelo. Kehityskohdeluetteloa käytetään tässä opinnäytetyössä laadittavan sovellusohjelman suorittamien laskentatoimenpiteiden määrittämisessä ja rajaamisessa.

Työn toisena päätavoitteena on tunnistaa LVIA-suunnittelussa esiintyvien laskentatoimenpiteiden yhteisiä lähtöarvoja ja rakentaa ohjelma siten, että tarvittavat lähtöarvot syötetään laskentaprosessin aikana vain kertaalleen. Samat lähtötiedot esiintyvät toistuvasti monissa eri laskutoimituksissa, minkä johdosta kyseisiä arvoja syötetään nykytilanteessa prosessin aikana useaan kertaan. Toistuva lähtötietojen syöttäminen heikentää prosessin tuottavuutta ja kasvattaa prosessin virhealttiutta. Laskentasovelluksen laajuuteen voidaan liittää ainoastaan murto-osa suunnitteluprosessissa tehtävistä laskentatoimenpiteistä, joten sovelluksen tulee kattaa sellaisia laskentakokonaisuuksia, joiden osalla on merkittävästi kehityspotentiaalia. Lähtötietojen muuttuessa tulee kaikkien laskentatulosten päivittyä, kun tarkentunut lähtötieto syötetään sovellukseen.

Kolmas päätavoite projektissa on laatia sovellusohjelmasta toimiva ohjelmistokokonaisuus, jossa on käyttäjäystävällinen käyttöliittymä tarvittavine ohjetiedostoineen. Laadunhallintatyökalu, suunnittelutyökalu tai ohjelmisto on parhaimmillaan silloin, kun käyttäjä kokee välineen hyödyllisenä ja mieluiseen. Edellä mainitut välineet ovat epäonnistuneita, mikäli ne ovat käytettävyydeltään heikkoja siten, että käyttäjä kokee järjestelmän taakkana tai pakotteena tietynlaiseen toimintamalliin.

Kolmeen päätavoitteeseen liittyvät tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Mitkä ovat yrityksen LVIA-suunnittelussa usein esiintyvät laskentatoiminnot?
- Minkälainen on valittujen laskentatoimenpiteiden suorittamiseen kehitetyn sovelluksen toimiva toteutus käytännössä?

Laskentatoimintojen kartoittamiseksi laaditaan tilaajayrityksen suunnittelijakunnalle kvalitatiivinen kyselytutkimus. Kyselytutkimuksen tulokset ja laskentatoimenpiteiden analyysi esitellään yrityksen johdolle. Esittelyssä rajataan sovelluksen kattamat lasken-

tatoimenpiteet ja laajuus. Projektin lyhyen läpivientiajan vuoksi sovelluksen kehitys pyritään suorittamaan lineaarisen sovelluskehitysmallin mukaisesti sallien kuitenkin sovelluskehitykselle luonnolliset iteratiiviset piirteet.

1.3 Projektin rajaus

Projekti rajataan yhteen suunnitteluovellukseen, jonka toiminta-alueen tulee olla yhtenäinen kokonaisuus. Suunnitteluovelluksen toiminta-alue määritetään suunnittelijakunnan kyselytutkimuksen ja yrityksen johdon tunnistamien tarpeiden mukaisesti. Suunnitteluovellus toteutetaan käyttäjäystävälliseen käyttöliittymään ja ohjelmointivirheitä pyritään poissulkemaan sovelluskehityksen ohjelmointivaiheessa. Ohjelmointiratkaisuja ja käyttöliittymä esitellään opinnäytetyöraportissa.

Tässä projektissa ei käsitellä syvällisesti sovelluskehitystä, ohjelmointikieliä, yhteensopivuusongelmia eikä varsinaisia makroihin tai ohjelmasovelluksiin liittyviä tietoturvariskejä. Projekti käsittää ohjelmiston vaatimusten määrittelyvaiheen, suunnitteluvaiheen ja toteutusvaiheen. Sovelluksen integraatio, testaus, asennus ja ylläpito rajataan projektin ulkopuolelle työn laajuudesta johtuen.

Työn painopiste on suunnitteluovelluksen laskentatoimenpiteiden selvittämisessä, rajaamisessa ja itse sovellusohjelman laatimisessa. Työn laatijan vähäisistä ohjelmointitaidoista johtuen suurin työpanos asetetaan ohjelmointityölle ja ohjelmointikielen sisäistämiseksi. Opinnäytetyön luonne on enemmän tuotekehitykseen keskittyvä kuin tutkimuksellinen.

2 Yrityksen nykyiset LVIA-laskentakäytännöt

Kartoitin tilaajayrityksessä jo ennen opinnäytetyön aihepiirin valitsemista suunnittelu-prosessin tehostamistarvetta ja toimintamallien nykytilannetta. Olen toiminut suunnittelijana ja suunnittelun ohjaajana tilaajayrityksessä kymmenen vuoden ajan. Työssäolo-aikana minulle on muodostunut selkeä käsitys yrityksen toimintatavoista ja -malleista.

Tilaajayrityksen laskentatoimintojen suoritustavat vaihtelivat suunnittelijakohtaisesti. Tyypillisiä laskentatapoja olivat

- aikaisemmista projekteista kopioidut, yksinkertaiset, Excel-laskentataulukot
- perinteiset ruutupaperilaskelmat
- LVIA-toimintakaavioihin integroidut Autocad-laskentataulukot
- Ville Sipolan insinööriyössään laatimat älykkäät laskentataulukot.

2.1 Yksinkertaiset Excel-taulukot, ruutupaperilaskelmat ja Autocad-taulukot

Excel-taulukoiden osalta yrityksessä koettiin hankalaksi erityisesti toisten suunnittelijoiden laatimien tai täyttämien työkirjojen tarkastaminen, täydentäminen tai muuttaminen. Suunnittelijoiden toimiessa omilla toimintatavoillaan ei laskemisessa ole yhtenäistä rutiinia. Vaihtelevat laskentataulukot ovat myös äärimmäisen vaikeita tarkastuskohteita suunnittelun ohjaajalle. Mikäli dokumentointi on suoritettu puutteellisesti tai välituloksia ei ole esitetty, hankaloituu tarkistaminen entisestään. Kaavojen vaihdellessa projekti-kohtaisesti on tarkistamisvaiheessa tunnistettava tarkistuslaajuus: voidako luottaa suunnittelijan virheettömään suoritukseen vai tulisiko tarkistaa kaikki laskentakaavat. Tyypillisesti laskemien tarkistaminen suoritetaan pistokokein.

Ruutupaperille suoritettut laskelmat ovat monelta osin epäluotettavampia ja riskialttiimpia kuin taulukkolaskentaohjelmalla suoritettut laskelmat. Lähtökohtaisesti ongelmia saattaa syntyä hankalasti tulkittavasta käsialasta. Laskelmia tarkistettaessa on useasti käynyt ilmi yksittäisen laskuvirheen johtuvan siitä, että laskelman tekijä on tulkinut virheellisesti omia välituloksiaan ruutupaperilla. Ruutupaperilla suoritettujen laskelmien yleisiä virheiden aiheuttajia ovat näppäilyvirheet laskimella ja päässä laskuvirheet. Paperilla suoritetuista laskelmista tulee herkästi myös epäjohdonmukaisempia kuin taulukkolaskentaohjelmalla suoritetuista laskelmista, jolloin laskutoimitusten jäsentely on mahdollista suunnittelun edetessä.

Autocad-tilukkolaskennalla on samankaltaisia piirteitä kuin Excel-tilukkolaskennalla. Käyttökokemukseen perustuen voin kuitenkin todeta, että Autocad-tilukoiden muokattavuus on huomattavasti työläämpää kuin vastaavien Excel-tilukoiden. Autocad-tilukoissa käytettävissä olevien funktioiden lukumäärä on huomattavasti vähäisempi kuin Excel-tilukoissa. Autocad-tilukotyökalu tulee kyseeseen ainoastaan erittäin yksinkertaisia laskentataulukoita laadittaessa. Potentiaalisena lisäongelmana voidaan nähdä projektin laskentatoimenpiteiden sijoituksen piirto- ja mallinnusohjelmassa. Piirto- ja mallinnusohjelmia päivitettäessä on mahdollista, että kyseiselle laskentataulukoille ei löydy enää alustaa.

2.2 Älykkäät laskentataulukot

Ville Sipola laati AMK-insinööriytönsä yhteydessä seuraavat älykkäät laskentataulukot:

- kahdesta eri olosuhteissa olevasta ilmapirrasta sekoitetun ilmapirran olosuhteiden laskentataulukko. Laskennan lähtötietoina ovat ilmapirrat, lämpötilat ja suhteelliset kosteudet ennen sekoituspistettä.
- paisunta- ja varolaitteiden mitoitussoveltuva laskentataulukko
- lattialämmityksen mitoitussovellus, joka huomioi tehotarpeen ja lattiarakenteen.
- jäähdytyspatterin tehon laskeva taulukko, jonka lähtöarvoina ovat ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus patterin molemmin puolin. (3, s. 5–6.)

Toimistolle laadittu sekoitetun ilmapirran olosuhteiden määrittämiseen käytettävä laskentataulukko on saavuttanut hyvän vastaanoton suunnittelijoiden keskuudessa. Laskentataulukon tuloksia on vertailtu käsin laskettuihin ja IX-diagrammista luettuihin arvoihin. Taulukon laskentatuloksista ei ole löydetty virheitä, ja sovellus on helppokäyttöinen.

Sipolan paisunta- ja varolaitteiden mitoituslaulukkoja käytetään yleisesti suunnittelussa. Paisuntasäiliön koon määrittämisessä on kuitenkin herättänyt hämmennystä poikkeavat vertailuarvot laitevalmistajien ohjelmistolla laskettujen tilavuuksien ja laskentataulukolla laskettujen arvojen välillä. Käsin lasketut tilavuudet ovat antaneet sekä taulukoista että valmistajan ohjelmista poikkeavia arvoja.

Poikkeavia paisuntasäiliöiden mitoituslaavuuksia eri laskentatapojen välillä selittää lähtökohta, että laitevalmistajien ohjelmat ja vanhemmat suunnittelijat laskevat tilavuuksia

LVI-kortin 11-10329 mukaisesti, kun Sipolan taulukko soveltaa uudempaa LVI-korttia 11-10472. LVI-kortti 11-10329 on korvattu kortilla 11-10472 maaliskuussa 2011 (4, s. 1; 5, s.1). Taulukon laskentakaavat tulisi tarkastaa ja käyttäjäkuntaa informoida taulukon luotettavuudesta.

Jäähdytyspatterin mitoitusohjelman käyttö on keskittynyt luonnossuunnitteluvaiheessa tehtävään jäähdytysjärjestelmän alustavien tehojen määrittämiseen. Ohjelmassa jäähdytyspatterin tehon määrittämiseksi vaaditaan lähtötiedoksi patterin jälkeisen ilman kosteuspitoisuus. Nuoremmalla suunnittelijakunnalla on hankaluuksia hahmottaa ilman kosteusolosuhdetta jäähdytyspatterin jälkeisessä ilmavirrassa.

Mitoitettaessa toteutussuunnitteluvaiheessa fyysisiä jäähdytyspattereita määräytyy patterin jälkeisen ilman olosuhde patterin ohituskertoimen mukaan. Laitevalmistajien mitoitusohjelmilla toteutetuista laskelmista selviää patterin jälkeisen ilman olosuhteet ja kokonaisjäähdytysteho, mikäli ilmavirta on määritetty lähtötiedoiksi esimerkiksi tuntu- van jäähdytystehon mukaisesti.

Yrityksen suunnittelutoimeksiannoissa ei ole lähihistoriassa esiintynyt merkittäviä lattialämmityskohteita. Sipolan lattialämmitysovelluksen käyttöaste on ollut vähäinen. Laskentataulukko vaikuttaa käytännölliseltä ja hyvin toteutetulta. Teollisuuskohteissa, joihin suunnittelutoimiston toimeksiannot pääosin suuntautuvat, on lattialämmitys kuitenkin harvinainen lämmitysratkaisu.

2.3 Yrityksen käyttämät laskentatyövälineen laadunhallinnan näkökulmasta

Tilaajayrityksen laadunhallintakäsikirjassa on määritetty laadunhallintajärjestelmää seuraavasti:

Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy:n laadunhallintajärjestelmän tarkoitus on taata tuotteen tasalaatuisuus nykyaikaisessa suunnitteluprojektissa. Järjestelmässä perehdytään prosessin eri vaiheisiin, ohjeistaen toimintaa siten, että prosessi on hallittavissa prosessissa mukana olevista osapuolista riippumatta. (6, s. 5.)

Perinteisesti laaditut ruutupaperilaskelmat ja vaihtelevat Excel- tai Autocad-laskentataulukot eivät palvele yrityksen laadunhallintajärjestelmässä asetettua tavoitetta, jonka mukaan prosessi olisi hallittavissa mukana olevista osapuolista riippumatta. Laadunhallinnan näkökulmasta laskelmia tekevät suunnittelijat nähdään resursseina. Re-

surssit tulee olla korvattavissa prosessin kaikissa vaiheissa ilman, että resurssien uudelleenjärjestely vaikuttaa lopputuotteena olevaan LVIA-suunnitelmaan. Henkilöityneet laskentakäytännöt vaikuttavat väistämättä prosessin muutosjoustavuuteen ja pahimmassa tapauksessa lopputuotteen laadukkuuteen.

Sipolan laatimat taulukot noudattavat laadunhallintajärjestelmän asettamia tavoitteita prosessin toistettavuuden, jäljitettävyyden ja muutosjoustavuuden osalta. Laadunhallintajärjestelmän tavoite on laskelmien osalta saavutettavissa, kun laskelmat on toteutettu aina samalla tavalla projektista tai työn suorittajasta riippumatta. Standardinomainen suoritustapa mahdollistaa joustavan resursoinnin ja reagointikyvyn projektien läpivientimuutoksiin.

Kuten johdantokappaleessa totean, on tämä opinnäytetyö jatkumoa Sipolan aloittamalle laskentakäytäntöjen yhtenäistämiselle. Opinnäytetyössä on pyritty huomioimaan Sipolan tekemiä huomioita ja valintoja esimerkiksi ohjelmointikielen osalta. Sovellusohjelma on kuitenkin laadittu täysin erilliseksi ohjelmistokokonaisuudeksi, eikä se sisällä Sipolan laatimia taulukkoja.

3 Toimeksiantajan suunnitteluprosesseissa toistuvat laskentatoiminnot

3.1 Laskentatoimintoja koskeva kyselytutkimus

LVIA-laskentatoiminnot vaihtelevat jokapäiväisistä, yksinkertaisista laskuista monimutkaisempiin, useita välivaiheita ja muuttujia sisältäviin laskelmiin. Yleisimpien suunnittelijoiden tarvitsemien laskentatoimintojen kenttää pyrittiin selvittämään yrityksen suunnittelijakunnalla teetetyllä kyselytutkimuksella.

Kyselytutkimuksen pohjaksi valittiin sähköpostitse lähetettävä avoin kvalitatiivinen kyselytutkimus. Kyselytutkimuksen pohjaksi ja tehtävänannoksi lähetettiin seuraava sähköpostiviesti:

*Lähettilä: Matti Holma
Lähetetty 17.01.2017
Vastaanottaja: (Suunnittelijakunta)
Aihe: Sovellusohjelma LVIA-suunnitteluprosessin kehittämiseksi*

Tarkoituksena olisi laatia YAMK-opinnäytetyönä .xls / VBA –pohjainen sovellusohjelma LVIA-suunnittelun tueksi.

Ohjelman ydin ideat ovat seuraavat:

- *1 tai 2 erilaista yleispätevää, älykästä laskentataulukkoa, jotka on tarkoitus liittää jokaiseen suunnitteluprojektiin.*
- *ohjelman tulisi suorittaa kaikki, tai vähintäänkin pääosa projekteissa yleisesti toistuvista, ennen kaikkea työläistä laskentatehtävistä.*
- *ohjelmassa pyritään minimoimaan tiedon syöttökerrat, esim. pinta-alat syötetään kertaalleen lämpöhäviöiden, ilmanvaihdon, kaasupalonsammutuksen laskemiseksi.*

Kyselytutkimus 1:

Listaa vastauksena tähän mailiin LVI-laskentatoimenpiteitä, joihin kaipaavat suunnitteluprojekteissa yksinkertaistusta tai laskentasovellusta.

Esimerkkinä Ville Sipolan laatimat laskentataulukot:

- *ilmavirtojen sekoitus.*
- *paisunta- ja varolaitteet.*
- *lattialämmitys.*

Huom.!

- *jätä laskentasovelluksen toteutettavuuden arviointi minulle.*
- *kirjaa matalalla kynnyksellä kaikki ideat, valitaan laskentatoimenpiteet vastausten perusteella.*
- *voit kirjata myös muita huomioita projektiin liittyen.*

Kysely lähetettiin seitsemälle suunnittelijalle yrityksen kahdeksan hengen suunnittelijakunnasta. Jokainen suunnittelija veloitettiin vastaamaan kyselyyn ja vastauksille ase-

tettiin määräaika. Määräaikaan mennessä saatiin viisi vastausta. Määräajan jälkeen lähetettiin kannustuskirje suunnittelijoille, jotka eivät olleet vastanneet kyselyyn. Kannustuskirjeen tuloksena myös puuttuvat kaksi vastausta saatiin pian määräajan umpeuduttua. Kyselytutkimuksen vastausasteeksi muodostui siten 100 %, joten kyselytutkimusta voidaan pitää kattavana otoksena suunnittelijakunnan näkemyksestä ja tarpeista.

Itselleni on vanhempana suunnittelijana muodostunut vahva näkemys yrityksen tarpeista suunnitteluprosessiin liittyen. Kvalitatiivisella kysymyksen asettelulla tavoiteltiin omien näkemyksien lisäksi täysin uusia näkökantoja yrityksen tarpeista. Vaihtoehtoisesti vastauksilta odotettiin tukea omalle käsitykselle suunnitteluprosessin kehitystarpeista. Vastaukset sekä tukivat nykyisiä näkemyksiä että toivat esiin uusia kehitystarpeita.

Kyselytutkimuksen vastaukset on taulukoitu liitteeseen 1: *Yrityksessä suoritettun kyselytutkimuksen vastaukset*. Suunnittelijoiden vastausten lukumäärän hajonta oli melko suuri. Eniten vastauksia antanut suunnittelija listasi 21 kehityskohdetta. Vastaavasti vähiten vastauksia antanut suunnittelija listasi vain kaksi vastausta. Suureen hajontaan vaikuttanee kyselytutkimuksen pakollisuus ja erot vastaajien toimenkuvassa. Yhteensä kehityskohteita listattiin 71 kpl, joista 16 kpl esiintyi vastauksissa sellaisenaan useamman kuin yhden kerran. Vastausten joukossa oli 55 erilaista vastausta, joista vivahdeeroja poistamalla ja vastauksia yhdistämällä saatiin taulukoitua 41 varsinaista kehityskohdetta.

Kehityskohteet esiteltiin yrityksen johdolle. Kaikki kehityskohteet kirjataan yrityksen laadunhallintajärjestelmän kehityskohdeluetteloon ja käsitellään myöhemmin suunnittelijakunnan kesken. Yrityksen johdon kanssa kehityskohteet jaoteltiin viiteen eri alakategoriaan seuraavasti:

- potentiaaliset laskentasovellukseen liitettävät laskentatoimenpiteet
- potentiaaliset erillisiin pienoissovelluksiin liitettävät laskentatoimenpiteet
- toissijaiset laskentatoimenpiteet, joille ei tässä vaiheessa laadita laskentasovel-lusta
- toissijaiset laskentatoimenpiteet, joiden suorittamiseen ei tarvita laskentataulukkoa, mutta suunnittelijakunnan ohjeistusta lisätään
- toimenpiteitä vaativat, tähän projektiin liittymättömät vastaukset.

Kehityskohteet jaoteltuna ylläolevan erittelyn mukaisesti on taulukoitu liitteessä 2: *Kyselytutkimuksen vastaukset jaoteltuna toimenpiteiden mukaisesti.*

3.2 Katgoria 1:n sisältämät toimenpiteet

Katgoria 1 sisältää potentiaaliset laskentasovellukseen liitettävät laskentatoimenpiteet. Kehityskohteita ei kategorisoitu automaattisesti numeeristen kyselytutkimuksen esiintymien perusteella. Kohteiden lajittelussa hyödynnettiin vastausten lisäksi yrityksen johdon ja minun kokemustani yrityksen tarpeista ja kehityskohteiden tärkeysjärjestyksestä. Ensimmäiseen katgoriaan liitettiin kehityskohteita seuraavin perustein:

- Laskentatoimenpiteistä tulee syntyä kokonaisuus, joilla on merkittävä määrä yhteisiä lähtöarvoja.
- Laskentatoimenpiteistä tulee syntyä kokonaisuus, joka suoritetaan suunnittelu-prosessin samassa vaiheessa.
- Laskentatoimenpiteiden tulee olla soveltuvia suoritettaviksi taulukkolaskentaohjelmistolla.
- Laskentatoimenpiteillä tulee olla kyselytutkimuksessa useita esiintymiä tai niiden tulee liittyä tiiviisti toisten esiintymien lähtötietoihin.

Johdon kehityskohteiden katselmuksessa ei tarkemmin listattu ylläolevaan katgoriaan asetettujen laskentatoimenpiteiden yhteneviä lähtöarvoja, mutta vaatimuksena oli jotain tunnistettavia lähtöarvojen yhtäläisyyksiä. Katselmuksessa ei suoritettu tämän opinnäytetyön yhteydessä toteutettavan laskentasovelluksen laskentatoimenpiteiden lopullista rajausta, ainoastaan ensimmäisen katgorian ulkopuoliset toimenpiteet rajattiin projektin ulkopuolelle.

Kehityskohdekatselmuksessa läpikäytyjen kyselytutkimusten valossa yrityksen johto toi esiin erityisen tarpeen sähkö- ja automaatiolaittilojen laskelmien automatisoinnista. Toimeksiantajan vakiintuneen asiakaskunnan suunnittelukohteet sijoittuvat pääosin raskaaseen teollisuuteen. Sähkö- ja automaatiotilakokonaisuudet toistuvat vuosittain monissa suunnittelutoimeksiannoissa. Katselmuksessa todettiin, että monet katgorian 1 vastauksista tukisivat kyseisten erikoistilojen laskentasovelluksen laatimista.

3.3 Katgoria 2:n sisältämät toimenpiteet

Kategoriaan 2 sisällytettiin potentiaaliset erillisiin pienoissovelluksiin liitettävät laskenta-toimenpiteet. Laskentatoimintojen tuli täyttää seuraavat kriteerit:

- Laskentatoimenpiteillä on selkeää kehitystarvetta, tarve toistuu, laskentataulukko tai ohjelmisto on tarpeellinen.
- Laskentatoimenpiteiden tulee olla soveltuvia suoritettaviksi taulukkolaskentaohjelmistolla.
- Laskentatoimenpiteillä ei ole hyödynnettäviä yhtenäisiä lähtötietoarvoja muihin laskentatoimenpiteisiin.
- Laskentatoimenpiteet ovat yksittäisiä, eivätkä liity laajempaan kokonaisuuteen.

Kategorian 2 laskentataulukkosovelluksia ei kehitetä tai laadita tässä projektissa. Tarve laskentataulukkoille on kuitenkin tunnistettu ja kyseiset kehityskohteet kirjataan yrityksen kehityskohdeluetteloon. Mahdollisesti seuraava yrityksen palkkakirjoilla valmistuva insinööri jatkaa kehitystyötä kyseisten laskentataulukoiden osalta.

3.4 Katgoria 3:n sisältämät toimenpiteet

Kategoriaan 3 sisällytettiin toissijaiset laskentatoimenpiteet, joille ei tässä vaiheessa laadita laskentasovellusta. Kategorian 3 laskentatoimenpiteet sisältävät sinänsä suunnitteluprosessille tärkeitä laskentatoimenpiteitä, joita ei kuitenkaan liitetä kategorioihin 1 tai 2 seuraavista syistä:

- Laskentatoimenpiteeseen on olemassa selkeä metodi olemassa olevan ilmais-applikaation kautta.
- Laskentatoimenpiteeseen on olemassa selkeä metodi yrityksen käytössä olevien kaupallisten sovellusten kautta.
- Toimenpide ei sovellu taulukkolaskennalla ratkaistavaksi.
- Kyseille laskentatoimenpiteelle ei ole tarvetta yrityksen vallitsevissa suunnittelukäytännöissä.

Kategorian 3 laskentatoimintoehdotukset käsitellään suunnittelijakunnan kanssa, mutta ne eivät johda muihin toimenpiteisiin. Suunnittelijoita ohjeistetaan toimintamalleista kyseisten laskentatoimenpiteiden suhteen.

3.5 Katgoria 4:n sisältämät toimenpiteet

Kategoriaan 4 sisällytettiin toissijaiset laskentatoimenpiteet, joiden suorittamiseen ei tarvita laskentataulukkoa, mutta suunnittelijakunnan ohjeistusta lisätään. Kategorian 4 vastaukset käsittävät pääosin LVI-suunnittelijan perustaitoihin lukeutuvia mitoitus- ja määritystoimenpiteitä. Kategorian vastaukset ovat yllättäviä, koska suunnittelun ohjaajana olettaa vastauksissa esiintyvien perusasioiden olevan suunnittelijoille selviä. Kehityskohteet eivät suoranaisesti liity monimutkaisiin laskentatoimenpiteisiin.

Kategorian 4 kehityskohde-ehdotuksia tullaan käsittelemään anonymisti suunnittelijakunnan keskuudessa. Suunnittelun ohjauksessa tiedostetaan, että nykytilannetta enemmän ohjausta tarvitaan monissa perusasioissa, esimerkiksi Rakentamismääräyskokoelman sisällön suhteen. Kyselytutkimus osoittaa, että valmistuvilla insinööreillä on vielä paljon omaksuttavaa alueilta, joita kokeneemmat suunnittelijat olettavat automaattisesti opiskeluajan jälkeen hallittaviksi perusasioiksi.

3.6 Katgoria 5:n sisältämät toimenpiteet

Kategoriaan 5 sijoitettiin kehitysehdotukset, jotka ovat selkeästi yrityksen suunnittelu-prosessille tärkeitä, mutta eivät suoranaisesti liity sovelluskehitysprojektiin. Kehityskohde-ehdotuksilla on yhtenäistä mallinnusprosessin kehittämiseen liittyvät tarpeet.

Kategorian 5 kehitysehdotukset keskittyvät toimiston ydintuotteen kehittämiseen, mutta eivät liity varsinaisiin laskentatoimintoihin. Kehityskohdekatselmuksessa todettiin, että kyseisen kategorian kohteisiin tulee etsiä ratkaisuja. Osa ehdotuksista sisälsi valmiiksi ehdotettuja ratkaisuja, joita tulee panna käytäntöön. Ehdotukset nostetaan kehityskohdeluetteloon ja yrityksen toimintaa tullaan kehittämään niiden pohjalta. Tähän opinnäytetyön laajuuteen kyseiset kehitysehdotukset eivät kuitenkaan liity.

4 Laskentasovelluksen käyttökohteet

4.1 Laskentasovellus ja toimiston muut ohjelmistot

Toimeksiantajayritys hyödyntää suunnitteluprosessissa suunnitteluohjelmistoja. Yrityksellä on käytössään seuraavat laajemmat suunnittelu ohjelmistot:

- Autocad, cad-dokumentoinnin alustaohjelma
- Magicad, Autocad alustainen LVI-suunnittelu- ja -mallinnusohjelmisto
- IDA ICE, dynaaminen energia, teho- ja sisäilmastomallinnusohjelma

Laajempien kaupallisten sovellusten lisäksi hyödynnetään laitevalmistajien mitoitusohjelmistoja ja ilmaisohjelmistoja:

- ilmanvaihtokoneiden mitoitusohjelmat, kuten Recair-mitoitusohjelma
- ilmanvaihdon päätelaitteiden simulointiohjelmistoja, kuten Climecon Vent X
- huuvien mitoitusohjelmat, esimerkiksi Climecon Huuva X
- IMI hydronics HY-tools, venttiilien mitoitus, putkivirtaus eri aineominaisuuksilla
- CoolPack, lämmönsiirtoaineet, IX-prosessit, kylmäprosessit
- erilaisia pumppujen, venttiilien, lämmönsiirtimien, ims-peltien ja muiden komponenttien mitoitusohjelmia.

Käytännössä lähes kaikki yrityksen suunnittelukohteet mallinnetaan ja malleja käytetään hyväksi tiedonsiirrossa ja tilavarauksissa. Seuraavat 3D mallien katseluohjelmat ovat yrityksen käytössä:

- Tekla Bimsight
- Navisworks Freedom

Edellä olevien, varsinaiseen LVI-suunnitteluun liittyvien, ohjelmien lisäksi on yrityksellä käytössä Microsoft Office -sovelluspaketit ja normaalit toimistokäytössä olevat työpöytäohjelmistot. Magicad-ohjelmistoon on hankittuna ilmanvaihdon ja putkistosuunnitteluun käytettävät *Ventilation*- ja *Piping*-lisenssit, mutta esimerkiksi tilojen olosuhde-, lämpöhäviö- ja energiamallintamiseen käytettävät *Comfort & Energy*- tai *Room*-lisenssejä ei ole yrityksen käytössä.

Laskentasovelluksella ei ole tarkoitus suorittaa suunnitteluprosessin toimenpiteitä, jotka voidaan suorittaa sujuvasti nykyisillä ohjelmistoilla. Laskentasovelluksella tähdätään

tehostamaan laskentatoimenpiteitä, joita suoritetaan tällä hetkellä ruutupaperilla tai erilaisilla suunnittelijoiden omilla Excel-taulukoilla.

4.2 Olemassa olevat LVI-laskentasovellukset

LVI-alan suunnittelutoimistoilla on käytössä erilaisia laskentasovelluksia ja yrityksille räätälöityjä suunnitteluohjelmistoja. Suoritin tämän opinnäytetyön yhteydessä kymmeniä internet-hakuja pyrkien kartoittamaan vapaasti tai kaupallisesti saatavilla olevat ohjelmistot.

Esimerkkejä kaupallisista LVI-laskentasovelluksista:

- edellä mainitut Magicad Room ja Comfort & Energy (Progman Oy)
- Granlund MEP (Insinööritoimisto Granlund Oy)
- lukuisat energiatodistuksen laatimiseen tarkoitetut ohjelmat, kuten laskentapalvelut.fi (Saint Gobain Rakennustuotteet Oy ja d.O.F tech Oy) ja MX6 Energia (Digital Lasso Solutions)
- D.O.F tech Oy:n muut ohjelmistot
- LCA-arvointiin suunnatut ohjelmat, kuten 360optimi (Bionova Oy)
- Kustannustieto TAKU (Haahtela Oy)
- Design Master MEP, ASHRAE-perusteiset laskelmat (Design Master Software Inc.).

Excel-pohjaisia ilmaisohjelmia löytyy internetistä lähinnä ympäristöministeriön ja rakennusvalvontaviranomaisten julkaisemana, vaatimuksenmukaisuuden osoittamiseen tarkoitetut:

- D3 tasauslaskin 2012 (ympäristöministeriö)
- D3 LTO-laskin 2012 (ympäristöministeriö)
- ilmanvaihdon ilmapintojen mitoituslaskuri ja energialaskuri (Helsingin Kaupungin Rakennusvalvontavirasto).

Kartoituksen yhteydessä on mainittava, että valmistuvien LVI-insinöörien keskuudessa sangen suosittu insinööritoimisto vaikuttaisi olevan D5-menetelmän mukainen energialaskentasovellus energiatodistusta varten. Lisäksi LVI-urakointipuolelle on tarjolla lukuisia kaupallisia tarjouslaskenta- ja laskutusohjelmistoja.

Suoritettujen hakujen perusteella muodostui käsitys, että muutamia kaupallisia laskentasovelluksia on saatavilla. Maksulliset laskentasovellukset ovat laajempia kokonaisuuksia, joilla tähdätään kokonaisvaltaiseen olosuhdemallintamiseen. Vaihtoehtoisesti tarjolla on määrättyyn laskentatoimenpiteeseen spesifioituja erityisalan ohjelmia (Energia, LCA, kustannustieto). Laajempien sovellusten lisenssikustannukset rajoittavat suunnittelutoimiston ohjelmistohankintoja. Kartoituksen perusteella vaikuttaa siltä, että kyselytutkimuksessa kartoitettujen laskentatoimenpiteiden suorittamiseksi on perusteltua laatia oma ohjelma. Yrityksen omaan käyttöön laadittu ohjelma on kannattavaa osaltaan, koska

- kaikkiin laskentatoimenpiteisiin ei ole ilmaista tai kaupallista ratkaisua tarjolla
- itse laadittu ohjelma voidaan räätälöidä tarkemmin yrityksen toimintatapa ja asiakaskunta huomioiden
- itse laadittuun ohjelmaan voidaan laatia opastavia ja perustelevia osioita, käyttäjäkunta huomioiden
- itse laaditun sovellusohjelman rajoitukset ja ohjelman sisäiset oletukset lähtöarvojen ja laskentatapojen osalta ovat tiedossa
- itse laadittuja ohjelmisto-osioita voidaan liittää osaksi muita ohjelmia
- itse laadittu ohjelmisto on lisenssimaksuvapaa.

4.3 Sovelluksen toiminta-alueen rajaus

Yritykselle laadittavan sovellusohjelman toiminta-alue selkeytyi kyselytutkimuksen ja johdon kehityskohdekatselmuksen myötä merkittävästi. Laskentatoimenpiteet, jotka ohjelmiston tulisi mahdollisuuksien mukaan suorittaa, oli rajattu yhdeksään vaihtoehtoon:

- tilojen lämpöhäviölaskelmat
- lämmönläpäisykertoimet eri rakennetyypeillä
- tilojen ilmamäärät perusteineen koneittain, tulo- ja poistoilmavirtojen tasapainotus
- ilmalämmitys ja lämpökuormien hallinta
- pinta-ala ja tilavuuslaskenta
- jäähdytystarve tiloittain, kokonaistarve
- kiertoilmatoimisen ilmalämmityksen / ilmajäähdytyksen lämmitys- / jäähdytysyksiköiden mitoitus huomioiden ilmapirtojen sekoituspisteet

- inerttikaasupalonsammutuksen CO₂ ylipaineenpoistopellin / -peltien koko ja lukumäärä
- inerttikaasupalonsammutuksen CO₂ suuttimien lukumäärä
- ilmavirtojen sekoituspisteet, lämpötilat ja entalpia-arvot
- lämpökuormat, laitekuormat, tilojen paineenkesto, atex-tilat, muut erityistilat.

Yrityksen johdon kanssa yhteisesti suoritettun kehityskohdekatselmuksen jälkeen sovittiin alustavasti, että tämän opinnäytetyön yhteydessä laaditaan kaksi erilaista sovellusohjelmaa. Ensimmäisen ohjelman oli tarkoitus käsitellä työnantajan toiveiden mukaisesti sähkö- ja automaatiolaitetilojen LVI-järjestelmien mitoitusta ja laskentatoimintoja. Toisen ohjelman oli tarkoitus käsitellä yleisesti projekteissa pinta-ala laskentaa, rakeneosien laskentaa, lämpöhäviölaskelmia ja ilmamäärälaskelmia. Alustava ohjelmointityö aloitettiin sähkö- ja laitetilojen laskentaohjelmiston osalta.

Lyhyen ohjelmointijakson jälkeen realisoituivat ohjelmistokehityksen haasteet: lukuisat eri skenaariovaihtoehdot ohjelmaa suoritettaessa, vaihtoehdot lähtötietojen täyttöjärjestyksessä ja tietojen päivittyminen lähtötietojen muuttuessa. Merkittävimpänä haasteena täytyy mainita myös omat, LVI-konsultin, heikot ja vähäiset ohjelmointitaidot. Haasteista huolimatta halusin pitää tavoitteena opinnäytetyön valmistumista ja molempien ohjelmien tuottamista suunnitellussa aikataulussa. Opinnäytetyön valmistumisen viivyttäminen ei tullut kyseeseen itselleni asettamien valmistumistavoitteiden vuoksi. Tavoite molempien ohjelmien tuottamisesta perustui ohjelmia odottavaan vahvaan tarpeeseen työpaikalla. Lisäksi tavoite perustui epäilykseen, että ohjelmat jäisivät tuottamatta, mikäli niitä ei toteutettaisi tämän opinnäytetyön yhteydessä.

Ensimmäinen palaveri ohjaavan opettajan kanssa järjestettiin, kun ohjelmointityötä oli aloitettu ja haasteet olivat selvillä. Palaverissa ohjaava opettaja ehdotti ohjelmistotutannon osuuden rajaamista vain yhteen ohjelmaan. Palaverissa tunnistin itsessäni vahvaa muutosvastustusta projektin alustavan rajauksen muuttamista vastaan. Palaveria seuraavalla viikolla keskustelin projektin rajauksesta työnantajan kanssa. Keskustelussa päädyttiin toteuttamaan tässä vaiheessa ainoastaan sähkö- ja laitetilojen LVI-järjestelmien mitoitusohjelma. Projektin rajausta johtaisi parempaan lopputulokseen yhden toimivamman ja kattavamman ohjelmiston muodossa, kuin kahden ohjelman, jotka olisi tuotettu väkisin asetetussa aikataulussa. Projektin edetessä ratkaisu osoittautui oikeaksi.

4.4 Sähkön käyttö ja tuotanto petrokemianteollisuudessa

Toimeksiantajayrityksellä on useamman vuosikymmenen pituinen asiakassuhde suureen kotimaiseen petrokemianteollisuuden yhtiöön, Neste Oyj:öön. Asiakkaalla on laajoja petrokemianteollisuuden yksiköitä Suomessa ja ulkomailla.

Teollisuusprosesseihin tarvitaan paljon sähköä. Prosesseissa sähköä käytetään esimerkiksi nesteiden pumppaamiseen, putkilinjojen saattolämmityksiin ja kompressoreiden pyörittämiseen, myös muita käyttötarkoituksia on runsaasti.

Jotta saadaan yleiskäsitys sähkön kulutuksesta ja sähkönjakelun laajuudesta yleisesti teollisuudessa, käsitellään alla olevissa kappeleissa esimerkinomaisesti tunnuslukuja petrokemianteollisuudesta. Sähkötilat, joiden LVI-järjestelmiä suunnittelusovelluksella on tarkoitus mitoittaa, palvelevat esimerkiksi öljynjalostusteollisuuden sähkönjakeluun liittyviä muuntamorakennuksia.

Seuraavissa taulukoissa on kuvattu Neste Oyj:n Naantalin ja Kilpilahden jalostamoiden energiavirtoja. Taulukot on liitetty tähän opinnäytetyöraporttiin luomaan käsitystä sähkönkäytön laajuudesta öljynjalostamoilla.

Taulukko 1. Neste Oyj:n Naantalin jalostamon vuotuisia sähkön- ja höyrynkulutuksia v. 2004-2006. (7.)

	v. 2004 GWh/a	v. 2005 GWh/a	v. 2006 GWh/a
Höyry	806	811	851
- oman tuotannon osuus	685 (85 %)	681 (84 %)	641 (75 %)
Sähkö	168	170	146

Taulukko 2. Neste Oyj:n Kilpilahden jalostamon ja voimalaitoksen vuotuisia sähkön-, höyryn ja lämmöntuottomääriä v. 2003-2007. (8.)

	2003 GWh/a	2004 GWh/a	Arvio 2007 GWh/a
Höyry	3 990	3 890	3 600
Sähkö	1 070	1 000	1 200
Lämpö	230	244	

Edellä esitettyihin taulukoihin 1 ja 2 vertailuarvona mainittakoon, että kolmen asukkaan kerrostalotalous kuluttaa sähköenergiaa noin 2400 kWh/a ja sähkölämmitteinen neljän hengen omakotitalous (120 m²) noin 18 500 kWh/a (9). Suuruusluokkia kuvaa hyvin, että Kilpilahden jalostamon vuoden 2004 sähköntuotanto vastaa edellä mainituin perustein noin 54 000 omakotitalon tai 416 000 kerrostalo -talouden sähkönkulutusta. Kilpilahden jalostamon ja voimalaitoksen tuottamaa sähköenergiaa hyödynnetään myös muilla Kilpilahden teollisuusalueen teollisuuslaitoksilla.

Kilpilahden teollisuusalueella on käynnissä uuden voimalaitoksen rakentamisprojekti. Tulevaisuudessa Neste Oyj:n Kilpilahden öljynjalostamolla sähkö ostetaan paikalliselta voimalaitosyhtiöltä, Kilpilahti Power Plant Oy:ltä, josta Neste Oyj omistaa 40 %. Muita osaomistajia voimalaitosyhtiöllä ovat Veolia (40 %) ja Borealis (20 %). Uuden voimalaitoksen sähköntuotannon kapasiteetti on 30 megawattia. (10.)

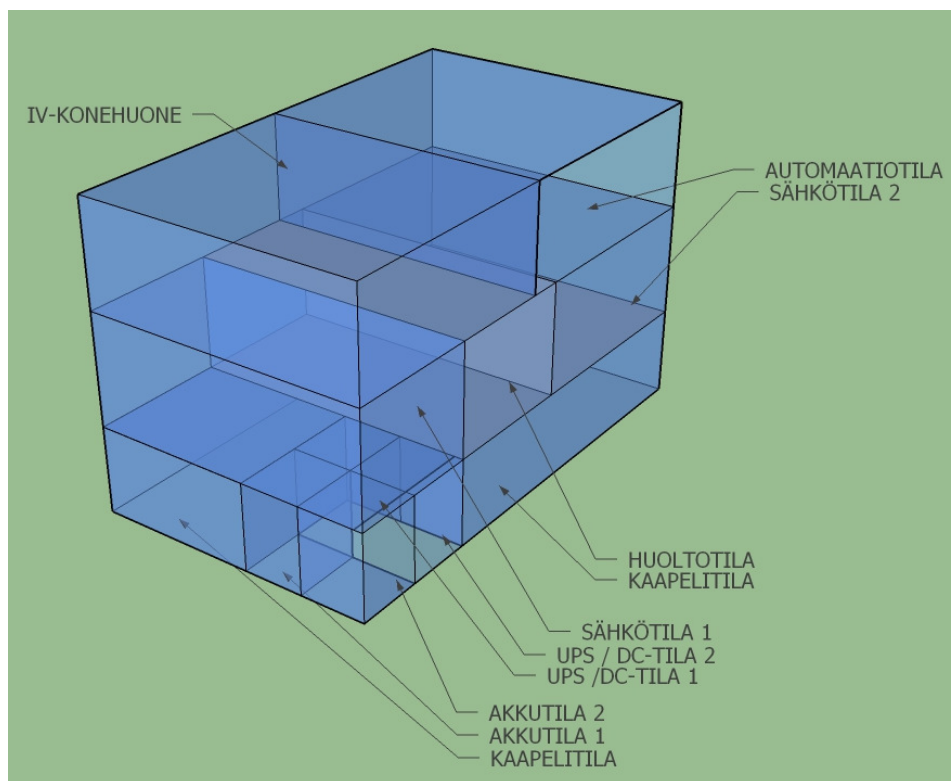
4.5 Sähkö- ja automaatiolaitetilat teollisuudessa

Muuntamorakennuksia sijaitsee esimerkiksi Kilpilahden teollisuusalueella noin sata kappaletta. Sähkötekniikan insinööri (AMK) Lauri Kauppala on kuvannut opinnäytetyössään Neste Oyj:n omistukseen, nykyisin Kilpilahden Sähkönsiirto Oy:n omistukseen kuuluvaa sataman prosessimuuntamo M098 seuraavasti:

Muuntamossa on kolme kerrosta. Alimmassa kerroksessa sijaitsee kaapelitilan lisäksi toinen UPS- ja tasajännitelaitteisto sekä akustot. Kaapelitila sijaitsee toisen kerroksen pienjännitekeskusten ja muuntajabunkkereiden alapuolella, josta kaapelit saa nostettua suoraa lattian läpi keskuksen sisälle tai muuntajalle. Toisessa kerroksessa on myös toinen kahdesta UPS- ja tasajännitelaitteistosta, kauko-ohjaus ja hälytyskeskukset sekä varavoimakkeistot ja kondensaattoriparistot. Kolmannessa kerroksessa sijaitsee LVI-laitteistot ja keskukset sekä instrumentointikeskukset. (11, s. 10.)

Olen ollut mukana M098-rakennusprojektissa LVI-suunnittelijana. M098 on tyypillinen esimerkki teollisuuden muuntamorakennuksesta. Jokaisen kerroksen pohjapinta-ala on noin 250 m². M098-muuntamoon on asennettu kaksi ulkoasenteista vedenjäähdytyskoneikkoa, joiden yhteenlaskettu jäähdytysteho on 286 kW. Muuntamo on paineistettu ja varustettu inerttikaasupalonsammutusjärjestelmällä. Myöhemmin tässä opinnäytetyössä muuntajarakennuksella tarkoitetaan M098 kaltaista teollisuuden prosessimuuntamo. Muuntajarakennuksella ei siis tarkoiteta niin sanottuja kiinteistö- tai puistomuuntamoita. Kuvassa 1 on esitetty kuvitteellisen, mutta kuitenkin tyypillisen, teollisuuden

muuntamorakennuksen 3D-layout, tilaohjelmineen. Kuvassa esitettyjen tilojen lisäksi varsinaiset muuntajatilat, niin sanotut muuntajabunkkerit, sijaitsevat tyypillisesti rakennuksen ulkoseinällä, josta sähkö saadaan kiskosiltoja pitkin siirrettyä kojeistotiloihin.



Kuva 1. Tyypillisen teollisuuden muuntajarakennuksen layout.

Petrokemianteollisuuden lisäksi toimeksiantajayrityksellä on sähkö- ja automaatiolaitetiloja sisältäviä suunnittelukohteita raideliikenteen asemilla ja varikoilla Helsingin kaupungin liikennelaitoksen omistamissa kiinteistöissä. Raideliikenteen muuntaja-, tasa-sähkökojeisto- ja automaatiolaitetilat ovat LVI-tekniikaltaan hyvin verrattavissa edellä mainittuihin teollisuuden muuntajarakennuksiin, joskin tyypillisesti kyse on pienemmistä yksiköistä.

Sähkö- ja automaatiolaitetilojen suunnittelusovelluksella on tarkoitus mitoittaa kyseisten muuntamorakennusten ja muiden suurempien sähkötilojen LVI-järjestelmiä. Sovellus laaditaan ensisijaisesti laajojen, kokonaan sähkönjakelua ja automaatiojärjestelmiä palvelevien rakennuksien LVI-järjestelmiä varten. Ei kuitenkaan ole estettä, miksi yksittäisten pienempien tilojen laskelmia ei voisi suorittaa laskentasovelluksella.

5 Sähkö- ja automaatiolaitetilojen LVI-järjestelmät ja lähtöarvot

5.1 Suunnitteluperusteet

Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy:lle on kehittynyt standardinomaisia ratkaisuja sähkö- ja laitetilojen LVI-järjestelmien suunnitteluun. Osa ratkaisusta tai periaatteista on kirjattu myös Neste Oyj:n spesifikaatioihin, Helsingin Kaupungin liikennelaitoksen Metroasemien ja Varikoiden suunnitteluohjeeseen, sekä Metrosuunnittelun käsikirjaan.

Yritykselle muotoutuneet sähkö- ja laitetilojen suunnitteluratkaisut perustuvat rakentamismääräysten lisäksi seuraaviin standardeihin ja ohjeisiin:

- Sähköistyksen yleisspesifikaatio N105, Neste Oyj (12)
- Sähkötilat enintään 1000 V -standardi, PSK2002, PSK-standardisointi (13)
- Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset, Osa 2: paikallisakut -standardi, SFS-EN 50272-2, SFS-Standardointi (14)
- Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. Ilmastoinnin mitoitusperusteet. LVI-kortti 30-10231, Rakennustieto Oy (15)
- Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. Ilmastointijärjestelmät. LVI-kortti 30-10236, Rakennustieto Oy (16)
- Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. Kemiallisen suodattimen valinta LVI-kortti 30-10237, Rakennustieto Oy (17)
- Sprinklerilaitteistot, suunnittelu ja asentaminen, FK-CEA 4001:2007-06 (18)
- Hiilidioksidisammutuslaitteistot, suunnittelu ja asentaminen, FK-CEA 4007:2010-05 (19)
- Inerttikaasusammutuslaitteistot, suunnittelu ja asentaminen, FK-CEA 4008:2015-04 (20).

5.2 Sähkö- ja automaatiolaitetilojen paineistus

Sähkö- ja laitetilat, pois lukien akkutilat, ylipaineistetaan puhtaan sisäilman varmistamiseksi. Ylipaineistusilma johdetaan jäähdytyskiertoilmakojeiden kammioiden kautta eri tiloihin. Ylipaineistusilman määrä säädetään tilakohtaisesti. Aggressiivisia kaasuja sisältävässä ympäristössä ylipaineistusilma on kemiallisesti suodatettua, jotta ulkoilmas-
sa olevat kaasumaiset epäpuhtaudet eivät vaurioita sähkö- ja automaatiolaitteita. Ylipaineistus suojaa tiloja myös ilmassa esiintyviltä pienhiukkasilta. Tuloilman suodatus-

luokka on tyypillisesti F9 (kemiallisen suodattimen jälkisuodatin). Suodatusluokka voi olla myös F7, mikäli kemiallista suodatusta ei ole eikä myöskään ole tarvetta erityisen hienon pölyn, kuten metrojunien jarrupölyn suodattamiseen raitisilmasta. Kemiallisen suodattimen valintaa ja peruskäsitteitä esitellään LVI-kortissa 31-10237, Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi, kemiallisen suodattimen valinta (17, s. 1–4).

Sopiva ylipaineistustaso on noin 20 Pa ulkoilmaan tai mahdollisesti muihin likaisempiin tiloihin nähden (12, s. 14). Ylipaineistustasoa määritettäessä on huomioitava suuret kulkuovet, joiden avaamiseksi tai sulkemiseksi vaadittava voima on suoraan verrannollinen oven ylitse vallitsevaan paine-eroon. Tiloille varattava ylipaineistusilmamäärä määritetään kokemusperäisin kertoimin, huomioiden rakenneratkaisujen oletettavissa olevat vuotoilmamäärät. Paikallavalubetonirakennukset tarvitsevat tyypillisesti vähemmän ylipaineistusilmaa paineistustason saavuttamiseksi kuin esimerkiksi Paroc-elementeistä koostuvat rakennukset.

Ylipaineistusilmalla on merkittävä vaikutus muuntamon jäähdytystehontarpeeseen. Kesällä kuumen ja erityisesti kostean ulkoilman jäähdyttäminen vaatii paljon kokonaisjäähdytystehoa, koska raitisilman entalpiataso on korkea.

5.3 Akkutilojen paineistus

Akkutilat alipaineistetaan jotta mahdolliset vetypäästöt, joita syntyy akkuja varatessa, eivät siirry ympäröiviin tiloihin. Akkuja ladataessa syntyy vetyä seurauksena veden elektrolyysistä varausvirralla. Paikallisakkujen akkutiloissa tulee olla riittävä ilmanvaihto varmistamaan, että vetypitoisuus huoneilmassa pysyy alle alemman syttymisrajan. (14, s. 32.) Vetykaasun alempi syttymisraja on 4,0 % tilavuudesta, joka vastaa noin 3,3 g/m³ (grammaa vetyä kuutiossa NTP ilmaa) (21, s. 114).

Akkutilan minimi-ilmanvaihto vetypitoisuuden pitämiseksi alemman syttymisrajan alapuolella ei ole noussut akkutilojen ilmanvaihdon määrittäväksi tekijäksi. Toteutuneissa kohteissa akkutilojen lämpökuormien hallitsemiseksi tarvitaan suuremmat ilmavirrat kuin tilan vetypitoisuuden hallitsemiseksi. Akkutiloista ei johdeta kiertoilmaa kiertoilmakoneille, vaan poistoilma johdetaan suoraan ulos rakennuksesta.

5.4 Sähkö- ja laitetilojen jäähdytys

Sähkö- ja automaatiotiloissa on laitekantaa, joka tuottaa runsaasti hukkalämpöä. Sähkö- ja automaatiolaitteet eivät myöskään siedä vettä. Teollisuuden sähkönjakelu- ja automaatiotoiminnot ajavat pahimmillaan vikatilanteessa koko tuotantoprosessin alas. Teollisuudessa tuotannon katkokset tarkoittavat tuotannon tappioita, jotka linjojen alasajojen yhteydessä ovat euromääräisesti hyvin merkittäviä. Tyypillisesti suurissa tuotantolaitoksissa koko tuotanto saatetaan ajaa alas vain esimerkiksi viiden vuoden välein kattavampien huoltotöiden suorittamiseksi. Koska sähkö- tai laitetiloihin sijoitettu paineellinen putki on potentiaalinen vuotoriski, joka pahimmillaan voisi aiheuttaa tuotannon alasajon, ei kriittisiin sähkötiloihin lähtökohtaisesti sijoiteta paineellisia putkia.

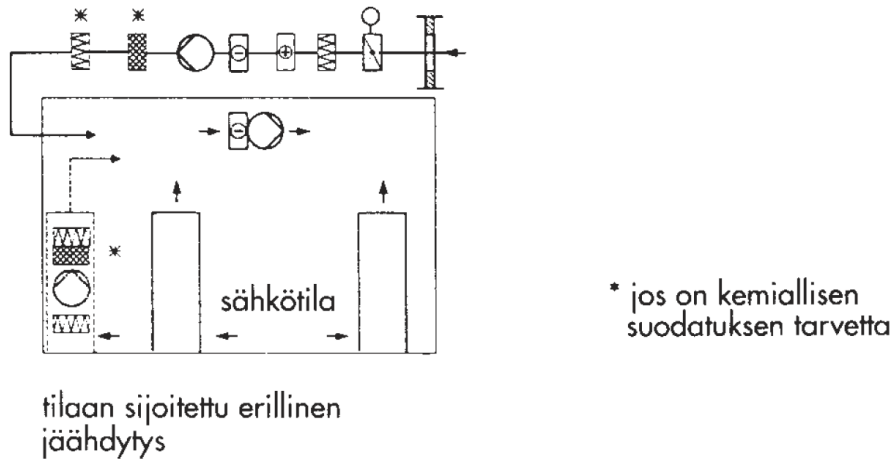
Paineellisten putkien sähkötiloihin sijoittamisen välttäminen johtaa käytännössä kolmeen erilaiseen vaihtoehtoon jäähdytysjärjestelmän osalta:

- suoraohyrysteiset jäähdytysjärjestelmät
- jäähdytys tilakohtaisilla kiertoilmajäähdyttimillä, niin sanotuilla kaappikojeilla
- keskitetty kiertoilmajäähdytys koteloiduilla kiertoilmakoneilla ja tilakohtaisilla jälkikäsittelypattereilla.

Suoraohyrysteiset jäähdytysjärjestelmät tulevat kyseeseen lähinnä poikkeuksellisissa tai hyvin pienissä kohteissa, joissa ei ole montaa tilaa. Suoraohyrysteiset järjestelmät eivät mahdollista vapaajäähdytystä. Vapaajäähdytyksellä pystytään kattamaan suuri osa vuotuisesta jäähdytysenergiantarpeesta. Vapaajäähdytystä puoltaa sähkö- ja laitetilojen ympärivuotiset lämpökuormat ja siten ympärivuotinen jäähdytystarve. Suoraohyrysteisten jäähdytyslaitteiden käyttöä rajaa myös se, että tilakohtaisia jäähdytyslaitteita käytettäessä kasvaa huollettava kylmälaitekanta merkittävästi. Huollettavat laitteet joudutaan sijoittamaan sähkötiloihin. Potentiaalisesti vuotavat kondenssivesiviemärit joudutaan myös sijoittamaan jäähdytettäviin sähkötiloihin.

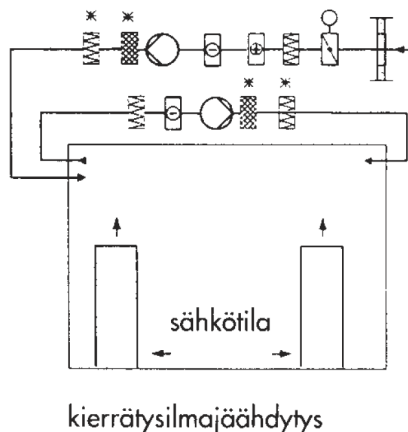
Tilakohtaisten kiertoilmajäähdyttimien käyttö on parempi vaihtoehto kuin suoraohyrysteiset jäähdytyslaitteet. Kiertoilmajäähdyttimet varustetaan nestekiertoisilla jäähdytyspattereilla, jolloin liuos voidaan jäähdyttää kylminä vuodenaikoina vapaajäähdytyksellä. Kiertoilmajäähdyttimet tulisi sijoittaa sähkö- ja laitetiloista erotettuihin, pieniin viemäri-tyihin jäähdytyskonehuoneisiin, jolloin koneet ovat huollettavissa sähkötilojen ulkopuolelta ja paineellisia putkia ei jouduta sijoittamaan jäähdytettäviin tiloihin. Tilakohtaisia kiertoilmajäähdyttimiä koskettaa kuitenkin yhtä lailla edellisessä kappaleessa mainittu

ongelma huoltoa vaativien kohteiden lisääntymisestä. Koska puhallinrikko lamaannuttaa jäähdytyksen tulee kiertoilmakoneet mitoittaa 50 % + 50 % teholla, tai kriittisissä kohteissa jopa 100 % + 100 % tehoille. Kuvassa 2 on esitetty periaate tilakohtaisilla kiertoilmajäähdyttimillä toteutettavasta sähkötilojen jäähdytysjärjestelmästä. Kuvassa esitetyssä järjestelyssä jäähdytyslaitteet ja paineelliset putket on sijoitettu sähkötiloihin.



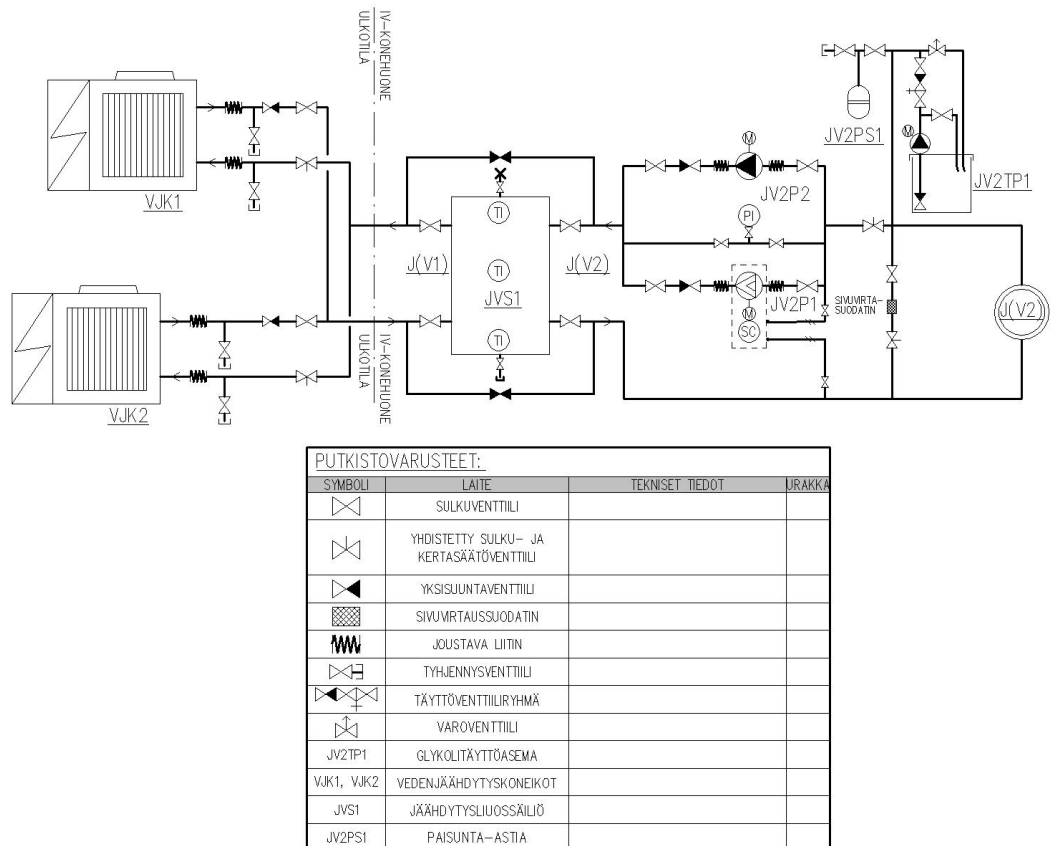
Kuva 2. Periaatepiirustus tilaan sijoitetuista erillisistä jäähdytyslaitteista (16, s. 1.)

Keskitetyssä kiertoilmajäähdytysjärjestelmässä kiertoilmakojeet jäähdytyspattereineen ja paineellisine putkineen sijoitetaan ilmanvaihtokonehuoneeseen, josta jäähdytetty ilma johdetaan tilakohtaisin kanavin palveleмиinsa tiloihin. Keskitetyt kiertoilmakoneet saadaan kahdennettua ilman, että laitekanta kasvaa merkittävästi. Ylipaineistusilma saadaan johdettua palvelualueelle kiertoilmakanavia pitkin. Sähkö- ja laitetiloihin ei sijoiteta huoltoa vaativia LVI-laitteita. Kuvassa 3 on esitetty periaate keskitetyllä kiertoilmajäähdytysjärjestelmällä toteutettavasta sähkötilojen jäähdytysjärjestelmästä.



Kuva 3. Periaatepiirustus keskitetystä kiertoilmajäähdytysjärjestelmästä (16, s. 1).

Tyypillisissä toimeksiantajan laajemmissa asiakasprojekteissa muuntamorakennusten jäähdytys tuotetaan vapaajäähdytyksellä varustetuilla, ulkoasenteisilla vedenjäähdytyskoneikoilla, jotka varmennetaan kohteesta riippuen 50 % + 50 % tai 100 % + 100 %. Jäähdytysputket johdetaan julkisivussa suoraan IV-konehuoneeseen. Tyypillisen sähkötilojen jäähdytystä palvelevan jäähdytysjärjestelmän putkistokaavio on esitetty kuvassa 4.

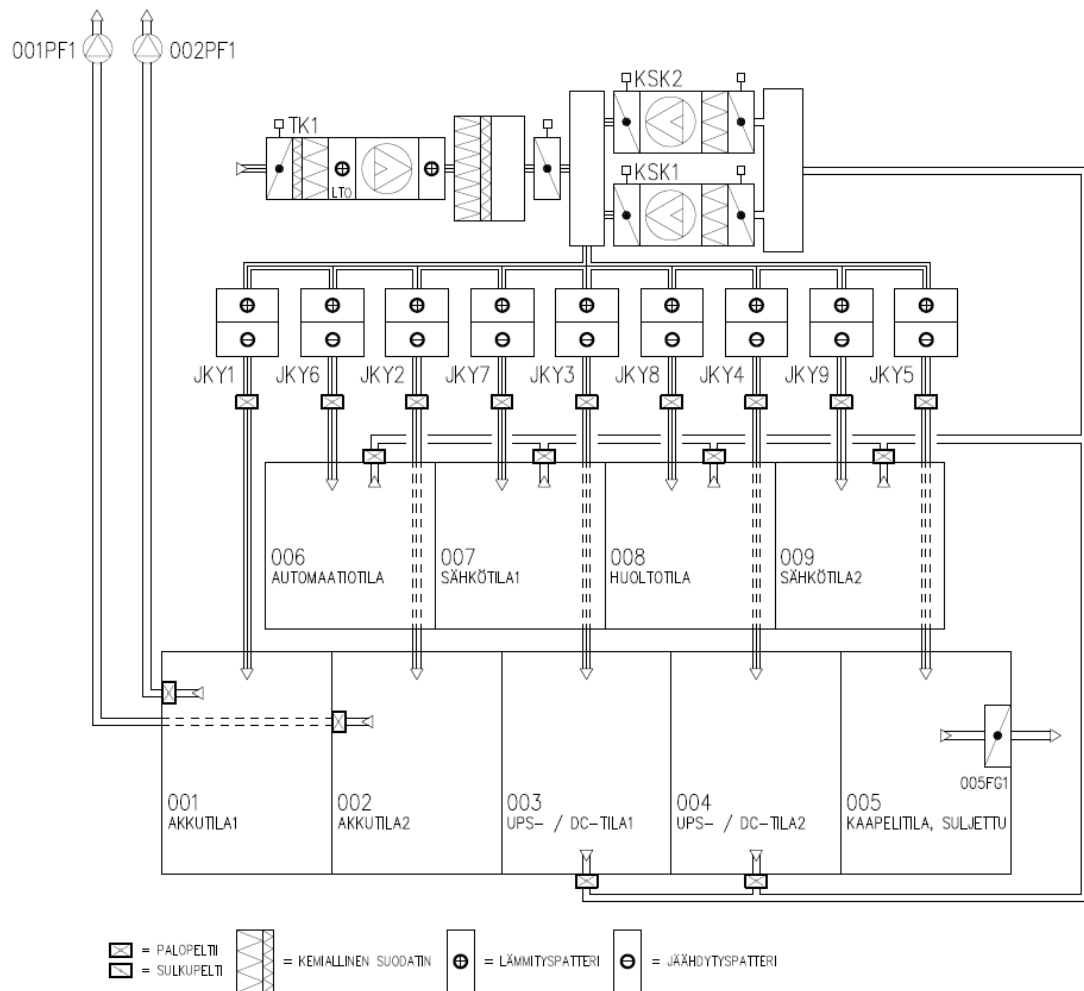


Kuva 4. Putkistokaavio: tyypillinen keskitetyllä kiertoilmajäähdytyksellä toteutettu sähkötilojen jäähdytysjärjestelmä.

Kuvan 4 mukaisessa jäähdytysjärjestelmässä jäähdytysvesi tuotetaan ulkoasenteisilla vedenjäähdytyskoneikoilla. Vedenjäähdytyskoneikoissa on integroituna lauhduttimet, kompressorit ja höyrystinpuolen lämmönsiirtimet. Vedenjäähdytyskoneikoissa on sisäänrakennetut vapaajäähdytyksen nestejäähdyttimet. Kierrättämällä koneikolle palaavaa jäähdytysnestettä vapaajäähdytyksen nestejäähdyttimien kautta, saadaan hyödynnettyä osittaista vapaajäähdytystä heti kun ulkolämpötila alittaa palaavan jäähdytysnesteen lämpötilan. Koneikoissa on sisäänrakennettu ohjaus- ja säätöautomaatiikka.

Vedenjäähdytyskoneikoilla tuotettu jäähdytysneste pumpataan lataussäiliön kautta verkostoon. Lataussäiliö vähentää kompressoreiden käynnistystyksiä silloin, kun rakennusta ei jäähdytetä täydellä kapasiteetilla. Lataussäiliölle on varattu ohitushaarat, jotka ovat normaalikäytössä suljettuina. Ohitushaarojen kautta on kuitenkin mahdollista pumpata osittaista jäähdytysvesivirtaamaa verkostoon vedenjäähdytyskoneikkojen integroiduilla pumpuilla, mikäli verkoston pumput eivät ole käytettävissä.

Edellä mainituissa, laajemmissa asiakasprojektien sähkö- ja laitetilakokonaisuuksissa tilojen jäähdytys toteutetaan keskitetyllä kiertoilmajäähdytyksellä. Jäähdytettävillä tiloilla on tilakohtaiset jälkijäähdytyspatterit. Kuvassa 5 on esitetty tyypillisen, keskitetyllä kiertoilmajäähdytyksellä varustetun sähkönjakelulaitoksen ilmanvaihtokaavio.



Kuva 5. Keskitetyllä kiertoilmajäähdytyksellä varustetun sähkönjakelulaitoksen ilmanvaihtokaavio.

Kuvan 5 mukaisessa ilmastointijärjestelmässä ylipaineistusilma suodatetaan ja lämmitetään esilämmityslämpötilaan ennen kemialliselle suodattimelle johtamista. Esilämmitys tehdään osin lämmöntalteenottopatterilla, osin lämmityspatterilla. Lämmöntalteenottopatterilla kierrätetään jäähdytysverkoston paluunestettä, jolloin esilämmityslämpöä saadaan tiloista poistettavasta yllilämmöstä. Esilämmityksellä vältetään kosteuden tiivistyminen sekoituskammiossa ja luodaan kemialliselle suodattimelle suotuisat olosuhteet.

Kemiallisesti suodatettu raitisilma johdetaan sekoituskammioon, johon puhalletaan myös tiloista poistettua, suodatettua kiertoilmaa. Sekoituskammion jälkeen sekoitusilma johdetaan tilakohtaisille jälkikäsittely-yksiköille, jotka sisältävät lämmitys- ja jäähdytyspatterit.

Toimeksiantajayritys suosittelee keskitettyä mallia yleisesti asiakkaiden laajempiin sähkö- ja laitetilakokonaisuuksiin. Ratkaisu täytyy kuitenkin suunnitella kohdekohtaisesti huomioiden jäähdytystehot, tilojen lukumäärä, asiakkaan vaatimukset, tilankäyttö ja muut projektikohtaiset lähtötiedot.

5.5 Sähkö- ja laitetilojen lämmitys

Tyypillisesti sähkö- ja automaatiolaitetiloja ei normaalitilanteessa lämmitetä. Tilojen lämpökuormat kattavat rakennuksen lämpöhäviöt jopa mitoituspakkasilla. Sähkö- ja laitetiloissa saattaa kuitenkin esiintyä vikatilanteita, huoltoseisokkeja tai vastaavia tilanteita, joissa laitteisto ei tuota lämpökuormaa. Edellä mainittuja tilanteita varten varustetaan tilat 100 %:n lämpöhäviöitä vastaavalla lämmitysteholla.

Sähkötilojen lämmitys pyritään toteuttamaan edellisessä jäähdytysjärjestelmiä koskevassa kohdassa esiteltyistä syistä siten, että itse sähkötiloihin ei tuoda paineellisia putkilinjoja, eikä huoltoa vaativia LVI-laitteita. Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttaa vahvasti valittu jäähdytysjärjestelmä. Mikäli tilakohtainen kiertoilmakanavointi on olemassa, on perusteltua varautua lämmitystilanteisiin ilmalämmityksellä. Tyypillisesti jäähdytyskuormat ovat merkittävästi suurempia kuin lämmitystehontarve, joten ilmalämmitys ei vaadi kiertoilmamäärien kasvattamista.

Mikäli keskitettyä kiertoilmajäähdytystä ja kiertoilmalämmitystä ei toteuteta kohteeseen, tulee lämmityksen kohdalla kyseeseen lämmitys säteilylämmittimin tai paikallisin sähkö-

kölämmityspattereihin. Laitteet joudutaan sijoittamaan sähkötiloihin. Paikallisen säätimen omaavissa laitteissa on ongelmana liiallinen säätömahdollisuus. Patteri on mahdollista tilan käyttäjän toimesta asettaa lämmittämään tilaa samaan aikaan, kun jäähdytyslaitteet jäähdyttävät tilaa.

Kuten edellisessä aiemmin totesin, laajempien muuntamorakennusten jäähdytys toteutetaan yleensä keskitetyllä kiertoilmajärjestelmällä. Muuntamoiden lämmitys on siten perusteltua järjestää tilakohtaisella ilmalämmityksellä. Suunnittelutoimisto suosittelee noudattamaan edellä olevia periaatteita yleisesti asiakkaiden kohteissa, mutta toteutustapa on lämmitysjärjestelmänkin kohdalla harkittava projektikohtaisesti.

5.6 Sähkö- ja laittilojen palonsammutusjärjestelmät

Aikaisemmissa kappaleissa on käsitelty sähkö- ja laittilojen kriittisyyttä prosessien toiminnalle. Sähkö- ja laittilojen palvelemien prosessien toiminnan turvaamiseksi suojataan tilat useasti palonsammutusjärjestelmällä. Mikäli palonsammutusjärjestelmää ei ole, saattaa tulipalon seurauksena sähkö- ja automaatiolaitteiden toiminta ja sitä kautta myös tuotantoprosessi katketa pitkäksi ajanjaksoksi.

Sähkö- ja laittilojen suojauksessa tulipaloa vastaan käytetään tyypillisesti tukahduttavia inerttikaasuseoksia, hiilidioksidia tai lämpöenergiaa absorboivia kemiallisia sammutteita. Myös vesisumusammutusjärjestelmät soveltuvat sähkö- ja laittilojen suojaukseen. Vesisprinklaus on huomionarvoinen vaihtoehto kaapelitilojen suojaukseen, joissa varsinaisia sähkölaitteita ei ole. Sammutusjärjestelmät voivat olla joko automaattisia tai manuaalisesti käynnistettäviä tai syötettäviä.

Toimeksiantajayrityksen asiakaskunnan sähkö- ja laittilat on suojattu pääosin hiilidioksidisammutusjärjestelmillä tai hiilidioksidipalonsammutusjärjestelmin. Automaattisissa sammutusjärjestelmissä argon, argonite (argon+typpi) tai inergen (argon + typpi + hiilidioksidi) ovat hyviä vaihtoehtoja matalan henkilöriskin vuoksi. Kyseisillä kaasuilla tai kaasuseoksilla toteutettavien palonsammutusjärjestelmien tarkoitus on laskea tilan happipitoisuus niin alhaiseksi, että palo tukahtuu, mutta ihmiset voivat turvallisesti poistua tilasta. Hiilidioksidisammutusjärjestelmään sisältyy henkilöriski (22.)



Kuva 6. Automaattinen inerttikaasupalonsammutusjärjestelmä toteutettuna argonite – seoskaasulla © www.mysona.dk, CC-BY-SA-3.0 (23.)

Kilpilahden teollisuusalueella toimii oma tehdaspalokunta. Suuret ja miehittämättömät sähkö- ja laitetilat on alueella suojattu pääosin hiilidioksidisammutusjärjestelmällä, joka laukaistaan manuaalisesti syöttämällä palokunnan hiilidioksidikontista sammutetta kuivaputkistoa pitkin suojattaviin tiloihin. Kriittisimpiä tai pieniä, potentiaalisesti miehitettyjä tiloja on suojattu myös automaattisin inergen -sammutusjärjestelmin.

Sähkötiloihin sijoitetaan alkusammutuskalustoksi käsisammuttimet. Käsisammuttimiksi tyypitetään hiilidioksidisammuttimia, joilla vältetään sammutustilanteessa aiheutetut laitevauriot ja jälkisiivous.

6 LVIA-laskentasovelluksen alusta ja graafinen toteutus

6.1 Laskentasovellukset ja taulukkolaskenta LVI-suunnittelussa

LVIA-suunnitteluprosessi on kokenut merkittäviä kehitysaskelia 1900-luvun alusta lähtien, jolloin käyttöön otettiin vaihteittain piirustuskojeita, laskutikkuja, mekaanisia laskukoneita ja erilaisia kopiointimenetelmiä. Suomessa ensimmäiset tietokoneet LVI-suunnittelukäytössä ajoittuvat 1960-luvulle, jolloin ATK-avusteinen suunnittelu oli kuitenkin vielä hyvin harvinaista ja poikkeuksellista. LVI-laskentaohjelmat ja CAD-piirtoohjelmat yleistyivät, PC-koneiden yleistyessä 1980-luvulla. Taulukkolaskentaohjelmilla on laskettu esimerkiksi putkistojen painehäviöitä jo 80-luvulla. (24, s. 174–175.)

Taulukkolaskentaan kehitetty, Microsoft Office -tuoteperheeseen kuuluva, Microsoft Excel -ohjelmisto on tuttu työväline monilla eri aloilla. Yksinkertaisimmillaan Excelin taulukkolaskentaa hyödynnetään luetteloissa, joihin ei sisälly laskutoimituksia tai muita toimintoja. Monet käyttäjistä hallitsevat Excelin perustoiminnot, mutta pääosa käyttäjistä ei osaa hyödyntää ohjelmiston kehittyneempiä toimintoja (25). Excel-ohjelmiston nykyversiot ovat ohjelmoitavissa VBA-ohjelmointikielellä, mikä mahdollistaa erillisten lisäosien tai sovellusten laatimisen Excel-ohjelmistolle. Arvellaan, että Excel toimii nykyään alustana miljoonille pienille ohjelmistoratkaisuille (26, s. 15, preface).

6.2 Sovellusalustan valinta

Taulukkolaskentaohjelmisto on luonnollinen valinta LVI-laskentatoimenpiteiden suorittamiseen. Taulukkolaskentasovellukset ovat yleisesti käytössä suunnittelutoimistoissa. Insinööriopiskelijat omaksuvat vähintään taulukkolaskentaohjelmistojen perusteet AMK-opintojen aikana, mikäli ohjelmistojen käytön on tätä ennen pystynyt välttämään.

Sovellusohjelman alustan valinta tehtiin jo projektin alkuvaiheilla. Ville Sipola on insinööriytössään tutkinut eri ohjelmistoympäristöjä toimeksiantajayrityksen laskentasovellusten alustoina. Sipolan insinööriyön perusteella yritykseen on valmiiksi muodostunut käytäntö, jonka mukaan LVI-laskelmaohjelmat tai älykkäät laskentataulukot toteutetaan Microsoft Excel -ympäristössä. Sipola on kiteyttänyt alustan valintaa seuraavasti:

Excel-ohjelmisto on varmasti yksi yleisimmistä toimistoista löytyvistä ohjelmistoista, riippumatta käyttöjärjestelmäalustasta. Se että Excel-ohjelmiston käyttö ei rajoitu vain tietyllä käyttöjärjestelmällä toimiviin työasemiin, tukee kyseisen ohjelman valintaa tässä projektissa käytettäväksi työkaluksi. Lisäksi ohjelmiston tunnettavuus, käytettävyyys ja suuren ohjelmistotalon tuki takaavat sen, että ohjelmisto on myös kymmenen vuoden päästä käytössä useimmissa toimistoissa vähintään samassa laajuudessaan kuin tänäkin päivänä. Lisäksi Microsoft Excel -ohjelmiston uudet versiot tukevat hyvin aiemmilla versioilla luotuja taulukoita. (3, s. 3.)

Sipola on laatinut insinöörityönsä samankaltaisista lähtökohdista, jotka itse omaan tätä YAMK-opinnäytetyötä laatiessa. Itse suoritettu ohjelmointityö ja projektin aikataulu ohjaavat helposti omaksuttavaan ohjelmointiympäristöön:

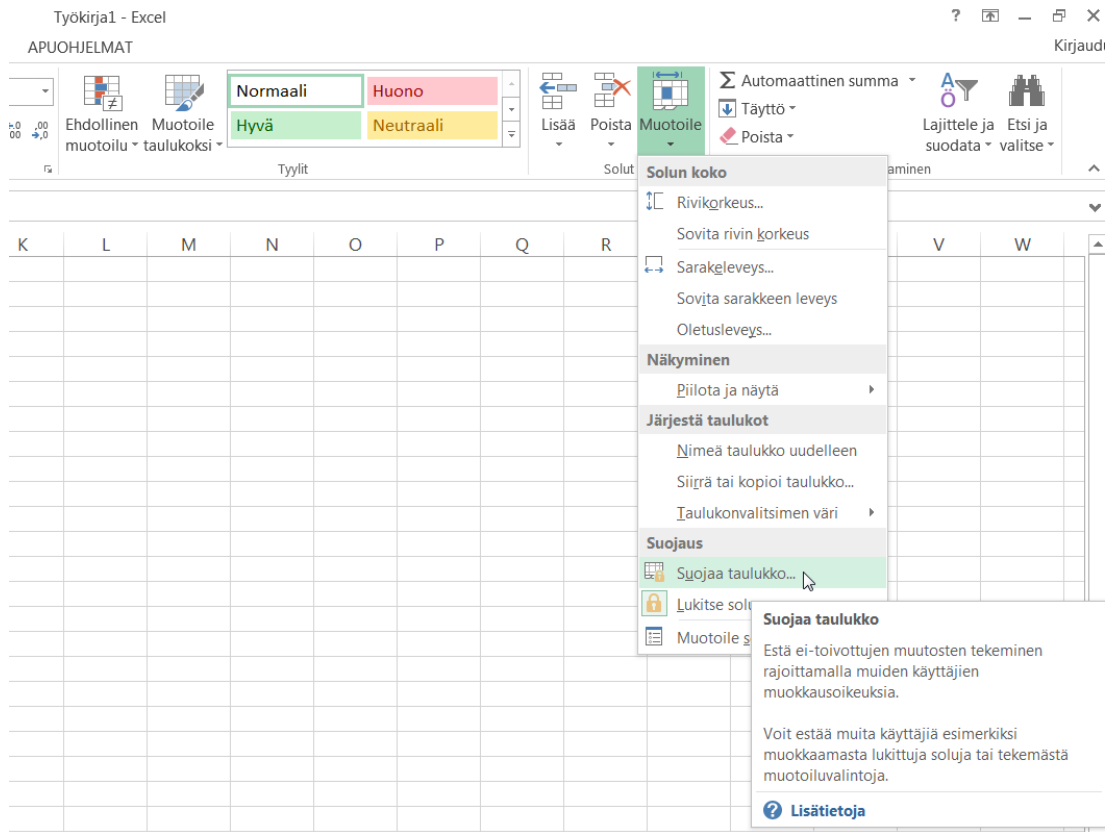
Projektille varattu kahden ja puolen kuukauden aika ei mahdollista suurien ohjelmointiopintojen suorittamista, joten Excel on tässäkin suhteessa hyvä valinta. Laskentatyökalujen muokattavuus on osaltaan myös tärkeä asia. Tällä tarkoitan sitä, että käytännössä kuka tahansa osaisi tarvittaessa tehdä pieniä muutoksia laskentaohjelmiin. Vaativimpiin laskentoihin Excel-taulukoihin voidaan lisätä toimintoja ja ohjelmallisuutta VBA-ohjelmointiympäristön kautta. (3, s. 4.)

Yrityksen aikaisemmin saamien positiivisten kokemusten myötä päätettiin tämänkin opinnäytetyön yhteydessä laadittavan sovellusohjelman alustaksi valita Microsoft Excel tehostettuna VBA-ohjelmoinnilla suoritettavilla toiminnoilla. Erona Sipolan älykkäiden taulukoiden toteutustapaan, on tässä työssä hyödynnetty enemmän VBA-ohjelmointia. Tietojen syöttö on keskitetty lähtötietosivulle ja Excelin userformeihin eli käyttäjälomakkeisiin. Tietojen siirto ja Excel-solujen täyttö tapahtuu pääosin ohjausobjekteilla ja ohjelmoiduilla toiminnoilla. Ohjelma sisällä nauhoitettuja makroja, vaan toiminnot on ohjelmoitu suoraan VBA-koodiin.

Toimintojen toteuttaminen ohjelmoinnin kautta on lisännyt sovelluksen toteutuksen vaadittavaa työmäärää huomattavasti. Samalla on kuitenkin saavutettu lopputuotteen parempaa koodin läpiviennin tehokkuutta. Ohjelman muistinkäyttö on vähäisempää ja ohjelman toiminnot suoritusajoinaan nopeampia.

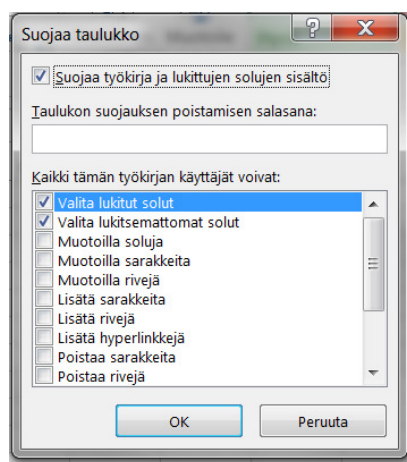
Kuten johdantokappaleessa on rajattu, ei tässä opinnäytetyössä varsinaisesti vertailla eri ohjelmointikieliä, eikä käsitellä syvällisesti sovelluskehitystä tai tietoturvariskejä. Koska kuitenkin kyseessä on yritykselle kaupalliseen käyttöön tuotettu sovellus, sivutaan seuraavissa kappaleissa muutamia esiinnousseita, potentiaalisia ongelmia VBA- / Excel -pohjaiseen toteutukseen liittyen.

Excel-taulukot ja VBA-koodilla kirjoitetut sovellusohjelmat voidaan suojata usealla tasolla. Taulukoista voidaan lukita salasanalla soluja, muotoiluja, välilehtiä ja toimintoja. Laskentataulukon suojaaminen tai lukitseminen tapahtuu aloitusvälilehden, muotoilu-toimintojen valikosta, kuten kuvassa 7. (27, s. 31.)



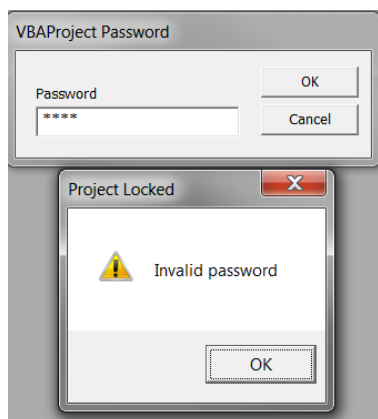
Kuva 7. Excel-työkirjan suojausvalikko aloitusvälilehden, "muotoile" -alasvetovalikossa.

Kuvassa 8 on esitetty Excel-laskentataulukon suojausvaihtoehtoja.



Kuva 8. Excel-taulukon suojausvaihtoehtoja

Myös VBA-koodi voidaan suojata Visual Basic Editorin Tools välilehden VBAProject – Project Properties ikkunassa. Kuva 9 osoittaa, että suojattua VBA-koodia ei pääse tarkastelemaan ilman asetettua salasanaa.



Kuva 9. Suojattu VBA-koodi ei ole luettavissa ilman asetettua salasanaa

Excelin ja VBA-koodi eivät ole tunnetusti turvallisia ohjelmia tietomurtoja vastaan. Salasanalla suojattu tiedosto, taulukko tai VBA-koodi voidaan murtaa internetistä saatavilla apuohjelmilla (28, s. 32). Mikäli osaa etsiä oikeita binäärikoodin palasia, saa suojauksen murrettua myös muokkaamalla koodia tavanomaisella binääritiedostojen editointiohjelmilla.

Suoritin koeluontoisesti opinnäytetyön yhteydessä VBA-koodin suojauksen murtamisen binäärikoodia muokkaamalla. Toimenpide oli suoritettu muutamassa minuutissa. Excelin ja VBA-koodin haavoittuvuus on syytä tiedostaa kaupallisia sovelluksia laadittaessa. Suuri ohjelmointityöpanos vuotaa työpaikkaa vaihtavien työntekijöiden mukana toisiin yrityksiin. Varsinaisessa kaupallisessa levityksessä olevien VBA-sovellusten kopiointi ja muokkaus on yksinkertaista. Suojatunkin koodin koskemattomuus on lähinnä kilpailijoiden omantunnon kysymys. Varsinaisessa Visual Basic-ohjelmointiympäristössä on käytettävissä huomattavasti kehittyneempiä ja monipuolisempia suojausvaihtoehtoja (29, s. 855–880).

Tämän opinnäytetyön yhteydessä laadittavan laskentasovelluksen toimintoihin kuuluu pituus- ja pinta-alatietojen syöttäminen Excel-tilukkuun osoittamalla rakenneosien pituuksia tai pinta-aloja avoimesta Autocad-tiedostosta. Autocad-ohjelmistoon kuului aikaisemmin sisäänrakennettuna VBA-kehitysympäristö ja vastaava VBA-editori, kuin Excelissä. Vuonna 2010 Autocad-ohjelmiston valmistaja Autodesk aloitti siirtymävai-

heen, jonka suuntana on VBA-kehitysympäristöstä VB.NET-kehitysympäristöön siirtyminen. Autocad tukee yhä VBA-toimintoja, mutta toimintojen läpiviemiseksi tulee ladata erillinen VBA-liitännäinen. Autocad VBA-liitännäinen on maksuton lisäosa, jolla VBA-koodilla kirjoitetut toiminnot ja komennot saadaan toimimaan. Ei ole tiedossa, miten pitkään Autocad tukee VBA-kehitysympäristöä. Autodesk suosittelee siirtymistä .NET-ympäristöön. (30.)

Edellisissä kappaleissa esitetyistä epäkohdista huolimatta, toteutetaan tämä opinnäyte-työ Microsoft Excel- ja VBA-ohjelmointiympäristössä. Haavoittuvuudet tietoturvan suhteen tiedostetaan ja yritys on valmis ottamaan riskin kehitetyn ohjelmiston vuotamisesta toimiston ulkopuolelle. Autocadin ja Excelin välinen tiedonsiirto ohjelmassa on kätevä lisätoiminto. Mikäli tiedonsiirto kuitenkin häviää Autocadin VBA-tuen loppumisen myötä, jäävät muut toiminnot olemaan ja laskentatoimenpiteet saadaan suoritettua syöttämällä lähtöarvot käsin ohjelmaan.

6.3 Graafinen toteutus

Excel-sovelluksen graafinen toteutus määrittelee merkittävästi ohjelmiston käytettävyyttä. Graafiselta ulkoasultaan heikko sovellus antaa käyttäjälle epäluotettavan, viimeistelemättömän käsityksen sovelluksesta. Mikäli ohjelman ulkoasu ei vaikuta suunnitellulta ja viimeistelyltä, saattaa käyttäjälle herätä epäluottamusta myös ohjelmiston sisältöä kohtaan. Viimeistellyn vaikutuksen lisäksi ohjelmiston tulee olla selkeästi jaoteltu ja helposti luettavissa.

Laajat Excel-taulukot tuntuvat herättävän vastustusta käyttäjäryhmissä. Yhtenä syynä vastustukseen on oletettavasti taulukoiden heikko ulko-asu, puutteellinen dokumentointi ja työkirjojen jäsenilemättömyys. Laajoja työkirjoja on hyvä jaotella pienempiin osaluaisiin. Käyttäjän on helpompi käsitellä ja sisäistää pienempiä kokonaisuuksia, kuin laajoja jäsenilemättömiä data-alueita.

Excel-taulukoikoita voidaan selkeyttää hyvillä fonteilla, solujen taustaväreillä ja soluja rajaavien reunaviivojen tyypeillä ja väreillä. Laajoissa taulukkokonaisuuksissa nousee monesti ongelmaksi taulukon rauhattomuus. Käyttäjän on vaikea kohdistaa katsetta ja huomiota tarpeellisiin täyttö- ja tulossoluihin. Hyvä Excel-taulukko ohjaa ohjelman tai taulukon käyttäjää etenemään loogisesti työn edetessä.

Lauramaria Laine on käsitellyt Visuaalisen suunnittelun opinnäytetyössään *Värien viestit* hyvin kattavasti yleisesti alalla tunnustettuihin tutkimuksiin vedoten värien tehokasta käyttöä informaation välityksessä. Laineen opinnäytetyöstä voidaan poimia seuraavia suuntaviivoja värien käyttöön:

- Luettavuuden aikaansaamiseksi on taustaväreillä ja fonteilla oltava riittävä kontrasti. Laine käyttää esimerkkinä sinisellä pohjalla esitetyn mustan fontin korvaamista valkoisella fontilla (31, s. 27).
- Värien käytön tulee olla harkittua, värisävyjen tulee olla mielellään luonnollisia (31, s. 30).
- Voimakkaita värejä, kuten punainen, tulee säästää korostamistarkoituksiin (31, s. 10).
- Tärkeimpiä asioita voi korostaa voimakkaiden värien lisäksi kontrastisuhteilla (31, s. 32).
- Kirkkauskontrastien tulee olla harkittuja (31, s. 32).

Laine kuvaa värien käytön tärkeyttä ja fysiologista taustaa hyvin opinnäytetyönsä luvussa *Järjestys ja logiikka*:

Värejä voi käyttää luokittelemaan asioita grafiikoissa. Värien kyky luokitella on matalan tason havainnollinen ilmiö – se on esimerkki esitarkkaavaisuusprosessista, jota ei tarvitse ajatella. Aivot erottelevat värilliset objektit taustastaan kerralla, havaitsemisprosessin aikaisessa vaiheessa. (31, s. 28.)

Tämän opinnäytetyön yhteydessä laadittavassa sovellusohjelmassa ohjataan väreillä taulukon käyttöä. Käyttäjän muokattavaksi tarkoitettut solut ovat taustaväriiltään vihreitä, muut solut kahta eri sinisen sävyä.

VBA-koodia varten on määritetty värien RGB värikoodit:

- Otsikkoja sisältävien solujen väri on tummansininen R142, G169, B219.
- Täyttötietoja sisältävien solujen väri on vaaleanvihreä R198, G224, B 180.
- Muiden perussolujen väri on vaaleansininen R = 217, G = 225, B = 242.

Kaikki solujen reunaviivat ovat valkoisia sinivihreiden solujen taustavärien vuoksi. Reunaviivoja on kahta eri paksuutta, joilla ohjataan etenemistä ja jaotellaan osalualueita. Tummansinisissä otsikkosoluissa teksti on valkoista, vaaleammissa soluissa mustaa. Myös tekstin lihavoitinta on hyödynnetty taulukon jaottelussa.

7 Laskentaohjelman laskentaprosessit

Tässä luvussa käsitellään laskentasovelluksessa käytetyt laskentakaavat. Kaavat on kerätty kirjallisuuslähteistä, eikä niitä ole erikseen johdettu tai selitetty tässä raportissa. Tässä luvussa esitettyjen kaavojen avulla hallitaan ilmajäähdytyksen ja -lämmityksen mitoitus, ilmastointiprosessit ja ilman olosuhteiden määrittäminen sekä hiilidioksidipalonsammutusjärjestelmän mitoitus.

7.1 Ylipaineistus ja kiertoilmamäärät

Sähkötilojen ylipaineistusilmamäärä määräytyy kokemusperäisten kertoimien perusteella. Kertoimet ovat tilavuuden tuntisia vaihtuvuuksia. Ylipaineistusilmavirran laskenta toteutetaan kaavan 1 mukaisesti:

$$q_{v,ylipaine} = \frac{V_{tila} \times n}{3600} \quad (1)$$

$q_{v,ylipaine}$ on tilan ylipaineistusilmavirta (m^3/s)

V_{tila} on tilan tilavuus (m^3)

n on tässä kokemusperäinen tuntinen vaihtuvuuskerroin ($1/\text{h}$)

3600 on muuntokerroin ($\text{m}^3/\text{h} \rightarrow \text{m}^3/\text{s}, \text{s}/\text{h}$)

Ilmastointiprosesseissa on mielekästä käsitellä massavirtoja, jolloin minimoidaan ilman ominaistilavuuden muutoksista johtuvat epätarkkuudet. Tilavuusvirrat muunnetaan massavirroiksi kaavan 2 mukaisesti kertomalla massavirta tiheydellä:

$$q_m = q_v \times \rho_i \quad (2)$$

q_m on aineen massavirta (kg/s)

q_v on aineen tilavuusvirta (m^3/s)

ρ_i on aineen tiheys (kg/m^3)

Sähkötilojen jäähdytysilmavirta määräytyy käytännössä jäähdytystehontarpeen mukaan. Jäähdytysilman massavirta lasketaan kaavan 3 mukaisesti:

$$q_{m,jäähdytys} = \frac{\phi_{kokonais}}{c_{p,ilma} \times \Delta t_{kiertoilma}} \quad (3)$$

$q_{m,jäähdytys}$ on tilan jäähdytysilmavirta (kg/s)

$\phi_{kokonais}$ on tilan kokonaislämpökuorma (kW)

$c_{p,ilma}$ on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kgK))

$\Delta t_{kiertoilma}$ on tilasta poistettavan ja tilaan johdettavan kiertoilman lämpötila-ero (K, °C)

Ilman ominaislämpökapasiteettina käytetään yleisesti 1,006 kJ/kg, joka voidaan tarkkuuden merkittävästi kärsimättä LVI-laskentatoimenpiteissä pyöristää arvoon 1,0 kJ/kg (32, s. 6). Tilasta poistettavan kiertoilman lämpötila määräytyy tilalle asetettujen lämpötilavaatimusten mukaisesti. Poistettavan kiertoilman lämpötilaksi määritetään tilalle asetettu korkein sallittu huonelämpötila. Tilaan puhallettavan tuloilman lämpötila määräytyy myös tiloille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Mikäli tuloilman lämpötila on liian matala, kärsivät tiloissa työskentelevät ihmiset vedontunteesta. Sähkötiloihin voidaan tyypillisesti puhalttaa viileämpää ilmaa kuin esimerkiksi toimistotiloihin, koska tiloissa oleskellaan vain ajoittaisesti. Tyypillisesti sähkötiloissa oleskelevat henkilöt eivät suorita paikoillaan tehtävää näyttöpäätetyötä. Teollisuuden työturvallisuusvaatimusten johdosta voidaan olettaa, että tilassa työskentelevät ihmiset ovat suojautuneet koko vartalon peittäviin työvaatteisiin.

Ylipaineistusilma jäähdyttää myös tilaa, joten ylimitoituksen välttämiseksi, tulee jäähdyttävä ylipaineistusilma huomioida kiertoilmamäärässä. Rakenteiden tiiveys kuitenkin vaihtelee kohteesta riippuen ja lopullinen ylipaineistusilmamäärä, jolla aikaansaadaan sopiva paineistustaso, selviää vasta ilmavirtoja säädettäessä. Koska varmuudella kaikkea ylipaineistusilmaa ei johdeta lopputilanteessa tilaan, tulee jäähdytyksessä hyödynnettävälle ylipaineistusilmalle määrittää minimikerroin. Minimikerroin määrittää ylipaineistusilmavirran, joka varmuudella johdetaan tilaan. Kiertoilman massavirta määritetään kaavan 4 mukaisesti:

$$q_{m,kierto} = q_{m,jäähdytys} - x \times q_{m,ylipaineistus} \quad (4)$$

$q_{m,kierto}$ on tilan kiertoilman massavirta (kg/s)

$q_{m,jäähdytys}$ on tilaan tarvittava kokonaisjäähdytysilman massavirta (kg/s)

x tässä on ylipaineistusilman hyödynnettävyysskerroin, 0–100 %

$q_{m,ylipaineistus}$ on tilan ylipaineistusilman massavirta (kg/s)

7.2 Ilmavirtojen sekoitus

Samassa keskitetyssä kiertoilmajärjestelmässä saattaa esiintyä erilaisia lämpötilavaatimuksia. Osa tiloista saatetaan pitää viileämpänä, kuin toiset. Tiloista poistettavat kiertoilmavirrat sekoittuvat kanavistossa ennen kiertoilmakojeita ja jäähdytyspattereita. Jotta saadaan selville tiloista poistetun kiertoilmavirran mitoitusolosuhteet, selvitetään sekoitetun ilmavirran lämpötila ja kosteusolosuhteet kaavojen 5 ja 6 mukaisesti: (33, s.8.)

$$t_{sekoitus} = \frac{q_{m,tila1} \times t_{tila1} + q_{m,tila2} \times t_{tila2} + \dots + q_{m,tilan} \times t_{tilan}}{q_{m,tila1} + q_{m,tila2} + \dots + q_{m,tilan}} \quad (5)$$

$t_{sekoitus}$ on sekoitetun poistoilmavirran lämpötila (°C)

$q_{m,tila1} \dots tilan$ on tilan kiertoilman massavirta (kg/s)

$t_{m,tila1} \dots tilan$ on tilan kiertoilman lämpötila (°C)

$$x_{sekoitus} = \frac{q_{m,tila1} \times x_{tila1} + q_{m,tila2} \times x_{tila2} + \dots + q_{m,tilan} \times x_{tilan}}{q_{m,tila1} + q_{m,tila2} + \dots + q_{m,tilan}} \quad (6)$$

$x_{sekoitus}$ on sekoitetun poistoilmavirran vesisisältö (kg_{vh}/kg_{ki})

$q_{m,tila1} \dots tilan$ on tilan kiertoilman massavirta (kg/s)

$t_{m,tila1} \dots tilan$ on tilan kiertoilman vesisisältö (kg_{vh}/kg_{ki})

Kaavoilla 5 ja 6 saadaan selville ilman lämpötila ja vesisisältö. Ilman kosteus ilmoitetaan suunnitelmissa tyypillisesti suhteellisenä kosteutena. Suhteellinen kosteus on Esa-Matti Laihon mukaan ”vesihöyryn osapaineen suhde vesihöyryn osapaineen maksimiarvoon (kyllästyspaineeseen) samassa lämpötilassa”. Suhteellisen kosteuden määrittäminen tapahtuu kaavan 7 mukaisesti (32, s. 2.):

$$\varphi = \frac{p_{vh}}{p_{vh'}} \quad (7)$$

φ on suhteellinen kosteus (%)

p_{vh} on vesihöyryn osapaine lämpötilassa x (Pa)

$p_{vh'}$ on vesihöyryn kyllästyspaine lämpötilassa x (Pa)

Suhteellisen kosteuden selvittämiseksi, kun poistoilman vesisisältö ja lämpötila on selvillä, lasketaan vesihöyryn osapaine kaavan 8 mukaisesti. (34, s. 15.)

$$p_{vh} = \frac{x_{sekoitus}}{\frac{M_{vh}}{M_{ki}} + x_{sekoitus}} \times p_{kok} \quad (8)$$

p_{vh} on vesihöyryn osapaine lämpötilassa x (Pa)

$x_{sekoitus}$ on sekoitetun poistoilmavirran vesisisältö (kg_{vh}/kg_{ki})

M_{vh} on vesihöyryn molaarinen massa, 18,016 (kg/kmol)

M_{ki} on kuivan ilman molaarinen massa, 28,964 (kg/kmol)

p_{kok} on ilmakehän kokonaispaine (Pa)

Vesihöyryn kyllästymispaineen selvittämiseksi hyödynnetään kokemusperäisiä laskentamalleja. Laskentamalleja löytyy useita. Olli Seppänen on esitellyt kaavan 9 mukaisen mallin (33, s. 188.):

$$p_{vh'} = \frac{\exp(77,345 + 0,0057 t - 7235 T)}{T^{8,2}} \quad (9)$$

$p_{vh'}$ on vesihöyryn kyllästyspaine lämpötilassa x (Pa)

T on kostean ilman lämpötila, huom.! Kelvinasteikolla (K)

Sen lisäksi, että eri tilojen kiertoilmavirrat sekoitetaan keskenään, sekoitetaan ilmavirtaan myös esilämmitetty raitisilma. Sekoituspistettä määritettäessä raitisilmaa käsitellään samalla tavalla kuin kiertoilmavirtoja.

7.3 Ilman tiheys

Excelillä toteutettavassa laskentasovelluksessa voidaan käyttää tarkkoja arvoja ilman merkittävää lisäpanostusta. Esimerkiksi ilman tiheyden osalta voidaan määrittää ilman todellisen olosuhteen mukainen tiheys. Ilman tiheyden määrittämiseksi lasketaan seoksessa olevan vesihöyryn ja kuivan ilman tiheydet yhteen kaavan 10 mukaisesti (33, s.188.):

$$\rho_{kok} = \rho_{ki} + \rho_{vh} \quad (10)$$

ρ_{kok} on kostean ilman tiheys (kg/m³)

ρ_{ki} on kuivan ilman tiheys (kg/m³)

ρ_{vh} on vesihöyryn tiheys (kg/m³)

Kostean ilman tiheyden määrittämiseksi lasketaan kuivan ilman tiheys kaavan 11 mukaisesti (33, s.188.):

$$\rho_{ki} = \frac{M_{ki} \times p_{ki}}{R_u \times T} \quad (11)$$

ρ_{ki} on kuivan ilman tiheys (kg/m³)

M_{ki} on kuivan ilman molaarinen massa, 28,964 (kg/kmol)

p_{ki} on kuivan ilman osapaine (Pa)

R_u on yleinen kaasuvakio, 8314,5 (J/(kmolK))

T on ilman lämpötila, huom.! Kelvinasteikolla (K)

Kuivan ilman osapaine lasketaan ilmakehän kokonaispaineen ja vesihöyryn osapaineen erotuksena kaavan 12 mukaisesti (Daltonin laki) (33, s.188.):

$$p_{kok} = p_{vh} + p_{ki} \quad (12)$$

p_{kok} on ilmakehän kokonaispaine (Pa)

p_{vh} on vesihöyryn osapaine (Pa)

p_{ki} on kuivan ilman osapaine (Pa)

Tunnetuista lähtötiedoista riippuen, vesihöyryn osapaine lasketaan joko kaavan 8 mukaisesti (tunnetaan vesipitoisuus) tai kaavan 13 mukaisesti (tunnetaan suhteellinen kosteus) (33, s.188.):

$$p_{vh} = p_{kok} \times \varphi \quad (13)$$

p_{vh} on vesihöyryn osapaine (Pa)

p_{kok} on ilmakehän kokonaispaine (Pa)

φ on suhteellinen kosteus (%)

Vesihöyryn osuus lasketaan käyttäen vesihöyryn molaarista massaa kaavan 14 mukaisesti (33, s.188.):

$$\rho_{vh} = \frac{M_{vh} \times p_{vh}}{R_u \times T} \quad (14)$$

ρ_{vh} on vesihöyryn tiheys (kg/m³)

M_{vh} on vesihöyryn molaarinen massa, 18,016 (kg/kmol)

p_{vh} on vesihöyryn osapaine (Pa)

R_u on yleinen kaasuvakio, 8314,5 (J/(kmolK))

T on ilman lämpötila, huom.! Kelvinasteikolla (K)

7.4 Ilman absoluuttinen kosteus ja entalpia

Jäähdytyspattereiden tehontarpeen määrittämiseksi tulee patterille tulevan ilman entalpia olla tiedossa. Entalpian määrittämiseksi tulee tuntea ilman absoluuttinen kosteus. Seuraavien kaavojen avulla määritetään ilman absoluuttinen kosteus, mikäli lämpötila ja suhteellinen kosteus on tiedossa kaavan 15 mukaisesti (33, s.188.):

$$x = \frac{M_{vh}}{M_{ki}} \times \frac{p_{vh}}{p_{ki}} \quad (15)$$

x on kostean ilman vesisisältö (kg_{vh}/kg_{ki})

M_{vh} on vesihöyryn molaarinen massa, 18,016 (kg/kmol)

p_{vh} on vesihöyryn osapaine (Pa)

M_{ki} on kuivan ilman molaarinen massa, 28,964 (kg/kmol)

p_{ki} on kuivan ilman osapaine (Pa)

Mikäli ilmapirran lämpötila ja absoluuttinen kosteus ovat tiedossa lähtötietoina tai edellisten kaavojen perusteella, voidaan ilmapirran entalpia määrittää kaavan 16-18 mukaisesti huomioiden ilman ja vesihöyryn ominaislämpökapasiteetit ja veden höyrystymislämpö. Kaavasta 16 voidaan todeta, että kostean ilman entalpia on kuivan ilman entalpian ja vesihöyryn entalpioiden summa (32, s.5.):

$$h = h_{ki} + h_{vh} \quad (16)$$

h on kostean ilman entalpia (kJ/kg_{ki})

h_{ki} on kuivan ilman entalpia (kJ/kg_{ki})

h_{vh} on vesihöyryn entalpia (kJ/kg_{ki})

Kuivan ilman entalpia saadaan kertomalla ilman lämpötila kuivan ilman ominaislämpökapasiteetilla. Entalpiaa vertaillaan 0 °C lämpötilaan, joten ilman lämpötilana tulee käyttää Celsiusasteikon lämpötilaa, eikä absoluuttista lämpötilaa, kuten aikaisemmissa laskutoimituksissa. Kuivan ilman entalpia lasketaan kaavan 17 mukaisesti (32, s.5.):

$$h_{ki} = c_{p,ki} \times t \quad (17)$$

h_{ki} on kuivan ilman entalpia (kJ/kg_{ki})

$c_{p,ki}$ on kuivan ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,006 (kJ/(kgK))

t on ilman lämpötila huom.! Celsiusasteikolla! (°C)

Vesihöyryn entalpiaa määritettäessä huomioidaan ominaislämpökapasiteetin lisäksi veden höyrystymislämpö. Vesihöyryn entalpia lasketaan kaavan 18 mukaisesti (32, s. 5–6.):

$$h_{vh} = x (\ell + c_{p,vh} \times t) \quad (18)$$

h_{vh} on vesihöyryn entalpia (kJ/kg_{ki})

x on kostean ilman vesisisältö (kg_{vh}/kg_{ki})

ℓ on veden höyrystymislämpö, 2501 (kJ/kg)

$c_{p,vh}$ on vesihöyryn ominaislämpökapasiteetti, 1,86 (kJ/(kgK))

t on ilman lämpötila huom.! Celsiusasteikolla! (°C)

Jäähdytyspattereiden tehojen määrittäminen suoritetaan laitevalmistajien mitoitusohjelmilla, jotka huomioivat patterin todellisten ominaisuuksien mukaisen ohituskertoimen. Jäähdytyspatterin jälkeisen ilman olosuhde riippuu vahvasti patterin ohituskertoimesta, joten sen määrittäminen Excel-sovelluksella ei ole tarkoituksenmukaista.

7.5 Tilaan puhallettavan tuloilman lämpötila ja lämmityspatterin tehontarve

Tiloihin puhallettavat ilmavirrat on määritetty ylipaineistus- ja jäähdytysilmamäärien mukaisesti. Sähkötiloissa varaudutaan ilmalämmitykseen poikkeustilanteiden varalle. Koska lämmittävä ilmamäärä on tiedossa, määritetään laskennallisesti tarvittava tuloilman sisäänpuhalluslämpötila, jolla saadaan tarvittava lämmitysteho aikaiseksi. Sisäänpuhalluslämpötila lasketaan kaavan 19 mukaisesti:

$$t_{\text{sisäänpuhallusilma}} = t_{\text{sisäilma,vaatimus}} + \frac{\phi_{\text{lämmitys,kokonais}}}{c_{p,\text{ilma}} \times q_{m,\text{lämmitys}}} \quad (19)$$

$t_{\text{sisäänpuhallusilma}}$ on tilaan puhallettavan tuloilman lämpötila (°C)

$t_{\text{sisäilma,vaatimus}}$ on tilan matalin sallittu lämpötila (°C)

$\phi_{\text{lämmitys,kokonais}}$ on tilan kokonaislämmitystehontarve (kW)

$c_{p,\text{ilma}}$ on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kgK))

$q_{m,\text{lämmitys}}$ on tilan lämmitysilmamäärä (kg/s)

Tilan lämmitystehontarve lasketaan erillisellä laskentataulukolla. Lämpöhäviöiden laskentataulukko ei kuulu tähän opinnäytetyöprojektiin.

Koska kiertoilmavirtaa määritettäessä on jo huomioitu mahdollisesti mitoitustilannetta pienempi käytännössä tarvittava ylipaineistusilmavirta, on lämmitysilmavirta yhtä suuri kuin kiertoilmavirta (kaava 20):

$$q_{m,\text{lämmitys}} = q_{m,\text{kierto}} \quad (20)$$

$q_{m,\text{lämmitys}}$ on tilan lämmitysilmavirta (kg/s)

$q_{m,\text{kierto}}$ on tilan kiertoilmavirta (kg/s)

Kun lämmityspatterille tulevan sekoitetun kierto- / raitisilman olosuhteet tunnetaan ja tuloilman lämpötila on laskettu kaavan 19 mukaisesti, voidaan patterin teho laskea normaalilla lämmitysprosessin tehontarpeen kaavalla, kaava 21:

$$\phi_{\text{lämmityspatteri}} = c_{p,\text{ilma}} \times q_{m,\text{lämmitys}} \times \Delta t \quad (21)$$

$\phi_{\text{lämmityspatteri}}$ on lämmityspatterin tehontarve (kW)

$c_{p,\text{ilma}}$ on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kgK))

$q_{m,\text{lämmitys}}$ on tilan lämmitysilmamäärä (kg/s)

Δt on patterille tulevan ja patterilta lähtevän ilman lämpötila-ero (K, °C)

7.6 Hiilidioksidipalonsammutus

Hiilidioksidipalonsammutusjärjestelmän osalta mitoitus kattaa:

- tarkistuksen, että vaatimus tilasta avautuvien aukkojen maksimi pinta-alasta toteutuu
- hiilidioksidisammutteen määrän laskemisen
- sammutteen purkausajan määrittämisen
- sammutteen ylläpitoajan määrittämisen
- rakenteeseen sijoitettavien ylipaineenpurkauspeltien mitoittamisen siten, että rakenteet eivät vaurioidu.

CEA 4007: 2010 -julkaisun mukaan hiilidioksidilla suojattavan tilan rakenteiden tulee olla riittävän tiiviitä, jotta sammutusjärjestelmän toiminta voidaan taata. Vaipassa oleville aukoille on määritetty maksimipinta-ala, jonka tulee alittaa kaavassa 22 esitetyt arvot (19, s. 12.):

$$A_{\text{aukot}} \leq 50\text{m}^2 \text{ tai } A_{\text{aukot}} \leq 0,1 \times V_v^{\frac{2}{3}} \quad (22)$$

A_{aukot} on vaipassa olevien aukkojen pinta-ala (m²)

V_v on huonetilavuus (m³)

Vaadittava hiilidioksidisammutemäärä kohteen suojaamiseksi määritetään normaalisti kaavan 23 mukaisesti (19, s. 13.):

$$Q = K_B (0,75 \times V + 0,2A) \quad (23)$$

Q on hiilidioksidisammutteen suunnittelumäärä (kg)

K_B on ainekerroin, ≥ 1 ()

V on tilan tai kohdesuojauksen tilavuustekijä (m³)

A on tilan vaipan alan pinta-alatekijä (m^2)

Tilan kohdesuojauksen tilavuustekijä määritetään kaavan 24 mukaisesti (19, s. 14.):

$$V = V_v + 4 \times V_z - V_g \quad (24)$$

V on tilan tai kohdesuojauksen tilavuustekijä (m^3)

V_v on huonetilavuus (m^3)

V_z on ilmatilavuus, joka vaihtuu tilassa purkauksen aikana (m^3)

V_g on mitoitusalueella olevat kiinteät, tiiviit rakenteet (m^3)

Tilan vaipan pinta-alatekijä määritetään kaavan 25 mukaisesti (19, s. 14.):

$$A = A_v + 30 \times A_o \quad (25)$$

A on tilan vaipan alan pinta-alatekijä (m^2)

A_v on tilaa ympäröivän vaipan ala, aukkoineen (m^2)

A_o on vaipassa palon aikana auki olevien aukkojen pinta-ala (m^2)

Mikäli kaavan 26 ehto toteutuu, lasketaan hiilidioksidisammutteen määrä kaavan 27 mukaisesti (19, s. 13–14.):

$$0,75 \times V + 0,2 \times A_v \geq 1,1 \times V \quad (26)$$

V on tilan tai kohdesuojauksen tilavuustekijä (m^3)

A_v on tilaa ympäröivän vaipan ala, aukkoineen (m^2)

$$Q = K_B (1,1 \times V + 0,2 (30 \times A_o)) \quad (27)$$

Q on hiilidioksidisammutteen suunnittelumäärä (kg)

K_B on ainekerroin, ≥ 1 ()

V on tilan tai kohdesuojauksen tilavuustekijä (m^3)

A_o on vaipassa palon aikana auki olevien aukkojen pinta-ala (m^2)

Lisäksi laskennallista sammutemäärää kompensoidaan seuraavasti (19, s. 13–14):

- vuotojen ja täyttötoleranssien kompensointi
 - +10 % matalapainejärjestelmissä, alle 20 säiliön korkeapainesäiliöissä
 - +10 % alle 20 säiliön korkeapainejärjestelmissä
 - +5 % yli 20 säiliön korkeapainejärjestelmissä
- +75 % putkiston tilavuudesta matalapainejärjestelmissä kompensoimaan putkiin jäänyttä nestemäistä sammutetta
- +30 % korkeapainejärjestelmissä suunnittelupitoisuuden saavuttamiseksi
- kohdesuojauksissa ennen nestevirtauksen muodostumista kaasuna purkautuva sammutteen osuus on määritettävä laskennallisesti
- öljykylvyt karkaisulaitoksissa, bitumikyllästysaltaat ja kohteet joissa syttyviä nesteitä lämmitetään kauttaaltaan: sammutemäärää lisätään siten, että toinen purkaus on mahdollinen
- ääriämpötilojen kompensointi:
 - Jos ympäristön lämpötila on yli 100 °C, lisätään sammutteen määrää 2 % jokaista 5 °C:n ylitystä kohden
 - Jos ympäristön lämpötila on alle -20 °C, lisätään sammutteen määrää 2 % jokaista 1 °C:n alitusta kohden.

Opinnäytetyössä käsitellään sähkö- ja automaatiolaitetilojen suojausta. Sähkö- ja automaatiolaitetilojen osalta ainekertoimen K_B mukainen suunnittelupitoisuus tulee saavuttaa 60 sekunnin aikana. Suunnittelupitoisuus vaihtelee tarkemmasta tilatypistä riippuen 40–57 % välillä. Koko suunniteltu sammutemäärä tulee olla purettuna tilaan 240 sekunnin aikana. (19, s. 20–23.)

Paineenpurkausaukot mitoitetaan CEA 4007:2010, liitteen A9 mukaisesti. Paineentausaukkojen pinta-ala määritetään kaavan 28 mukaisella tavalla (19, s. 70–72.):

$$A = \frac{M_{CO_2} \times V_{CO_2}}{\sqrt{(\Delta p \times V_{HOM})}} \times C_2 \quad (28)$$

A on paineenpurkausaukon pinta-ala (m²)

M_{CO_2} on sammutteen massavirta (kg/s)

V_{CO_2} on hiilidioksidin ominaistilavuus, 0,506 (m³/kg)

Δp on paineenpurkausaukon painehäviö / sallittu paineen nousu tilassa (Pa)

V_{HOM} on homogeenisen ilma- / hiilidioksidiseoksen ominaistilavuus (m³/kg)

C_2 on virtausvastuskerroin

Paineenpurkausaukkojen mitoituksessa käytettävä sammutteen massavirta lasketaan kaavan 29 mukaisesti (19, s. 72.):

$$M_{CO_2} = \frac{Q}{purkaus aika} \quad (29)$$

M_{CO_2} on sammutteen massavirta (kg/s)

Q on hiilidioksidisammutteen suunnittelumäärä (kg)

$Purkaus aika$ on sammutteen purkaus aika (s)

Homogeenisen ilma- / hiilidioksidiseoksen ominaistilavuus lasketaan ilmaseoksen tiheyden käänteisarvona, kaava 30 (19, s. 72–73.):

$$V_{HOM} = \frac{1}{\rho_{HOM}} \quad (30)$$

V_{HOM} on homogeenisen ilma- / hiilidioksidiseoksen ominaistilavuus (m³/kg)

ρ_{HOM} on homogeenisen ilma- / hiilidioksidiseoksen tiheys (kg/m³)

Ilmaseoksen tiheys lasketaan suunnittelupitoisuuden mukaisilla pitoisuuksilla ja kaasujen tiheyksillä, kaava 31 (19, s. 72.):

$$\rho_{HOM} = \varepsilon_{ilma} \times \rho_{ilma} + \varepsilon_{CO_2} \times \rho_{CO_2} \quad (31)$$

ρ_{HOM} on homogeenisen ilma- / hiilidioksidiseoksen tiheys (kg/m³)

ε_{ilma} on ilman suhteellinen osuus kaasuseoksesta (%)

ρ_{ilma} on ilman tiheys (kg/m³)

ε_{CO_2} on hiilidioksidin suhteellinen osuus kaasuseoksesta (%)

ρ_{CO_2} on hiilidioksidin tiheys, 1,977 (kg/m³) (olosuhteessa 0 °C / 1013 mbar)

Kaavassa 28 esiintyvä virtausvastuskerroin C_2 määritellään kaavan 32 mukaisesti (19, s. 71.):

$$C_2 = \sqrt{\frac{C_1}{2}} \quad (32)$$

C_2 on virtausvastuskerroin

C_1 on kokemusperäinen virtausaukon muotokerroin, $0,5 < C_1 < 2,5$

Edellä olevilla kaavoilla saadaan määritettyä hiilidioksidikaasupalonsammutusjärjestelmän keskeisimmät osa-alueet. Putkistomitoitus, painehäviölaskenta ja putkiston lujuuslaskenta suoritetaan järjestelmän toimittajan toimesta erillisellä putkiston suunnitteluhjelmistolla.

8 Laskentasovelluksen toteutus

Kuten aikaisemmissa luvuissa on todettu, ajetaan laskentasovellusta Microsoft Excel -ohjelmiston käyttöliittymästä. Osa toiminnoista tapahtuu Excelin laskentataulukoissa, osa ohjelman taustalla suoritettavissa VBA-toiminnoissa.

Laskentaohjelman rakenne koostuu seuraavista osa-alueista:

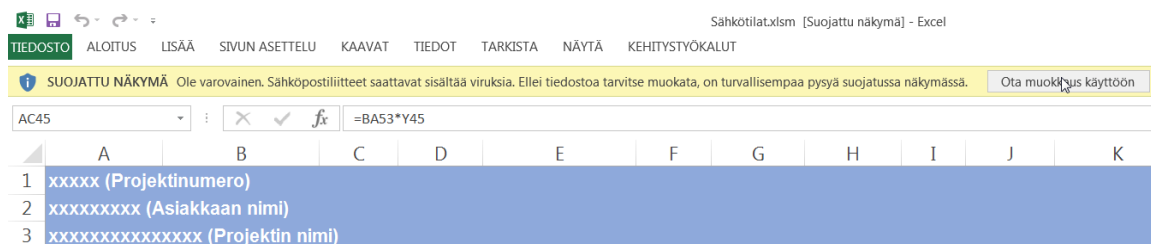
- etulehti, johon syötetään tiloille yhteneväiset oletusarvot
- userform -lomake, johon syötetään tilakohtaiset arvot
- tilakohtaiset Excel-laskentataulukot
- piilotetut Excelin summarivit ja välilaskentataulukot.

Kaikkia osa-alueita käsitellään yhdestä Excel-välilehdestä. Etulehti, tilakohtaiset laskentataulukot ja ilmanvaihdon olosuhteiden määrittämiseen käytettävät taulukot voidaan tulostaa arkistoitavaksi. Piilotetut solut ja lomakeohjausobjektit eivät tulostu.

Seuraavissa alaluvuissa on käsitelty sovellusohjelman käyttöä ja eri rakenneosien sisältöä. Toimintoja on selostettu ja koodia on liitetty raporttiin esimerkinomaisesti. Ohjelmassa on kokonaisuudessaan paljon toimintoja ja koodia. Ei ole tarkoituksenmukaista käsitellä kaikkia toimintoja, tai liittää raporttiin kaikkea koodia.

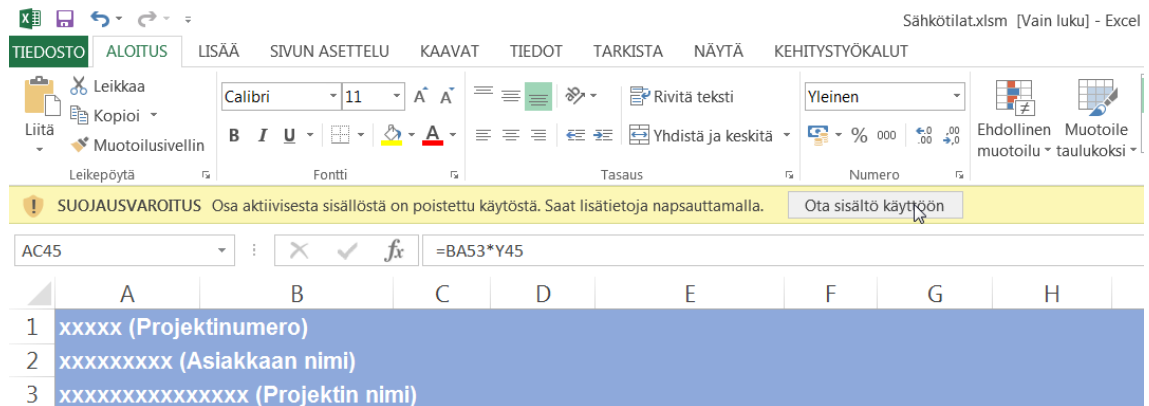
8.1 Sovellusohjelman käyttöönotto ja tarvittavat määrytykset

Sovellusohjelma on tallennettu VBA-koodia tukevaan ja makroja sallivaan .xlsm-tallennusmuotoon. Excel saattaa avata oletusarvoisesti tiedoston suojatussa näkymässä, riippuen työaseman tietoturva-asetuksista ja .xlsm-tiedoston tallennussijainnista. Sovelluksen käyttöönottamiseksi ja siirtymiseksi pois suojatusta tilasta, tulee painaa ”Ota muokkaus käyttöön” -painiketta, kuten kuvassa 10.



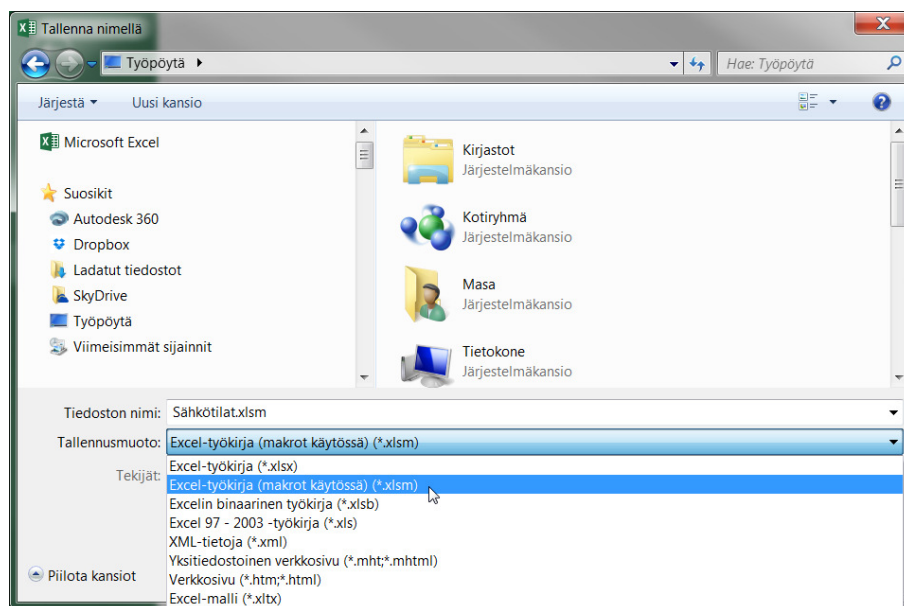
Kuva 10. Laskentasovellus avattuna suojattuun näkymään.

Käyttäjän siirryttyä pois suojatusta näkymästä, saattaa Excel yhä sulkea aktiivista sisältöä, kuten makroja ja VBA-ohjelmointia pois käytöstä. Aktiivisen sisällön sulkeminen käytöstä pois riippuu myöskin tietoturva-asetuksista ja tiedoston tallennussijainnista. Ohjelman suorittamiseksi tulee valita ”Ota sisältö käyttöön”, kuten kuvassa 11.



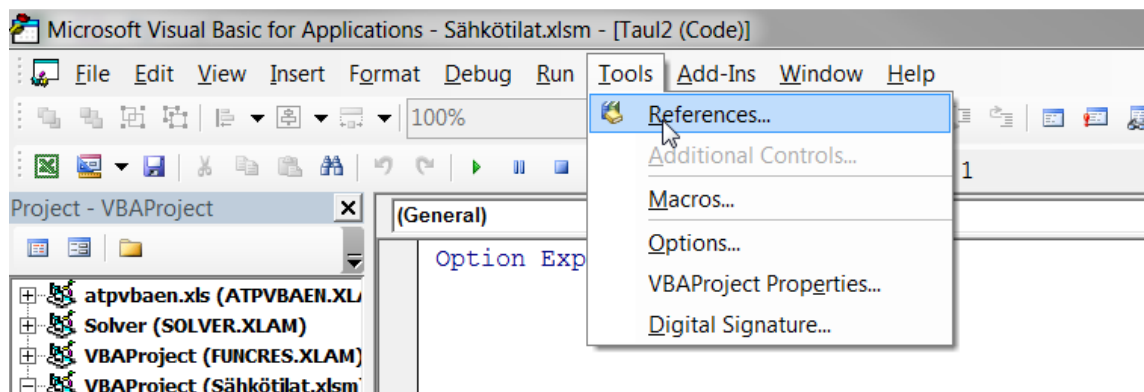
Kuva 11. Sovelluksen aktiivisen sisällön käyttöönottaminen.

Ohjelman koodissa ei ole käytetty viittauksia tiedostonimeen, joten tiedosto voidaan tallentaa vapaasti valittavalla tiedostonimellä. Tallennettaessa tiedostoa, tulee tallennusmuodoksi valita .xslm-muotoinen tiedosto, kuten kuvassa 12.



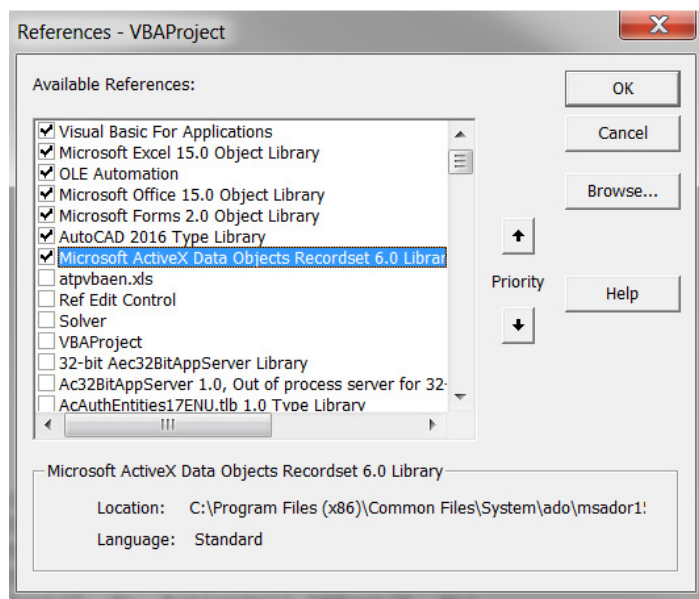
Kuva 12. Tiedoston tallentaminen makroja sallivaan .xslm-tiedostomuotoon.

Ohjelmaa laadittaessa projektiin on valittu ladattavaksi tarvittavat VBA-referenssikirjastot. Aktivoidut referenssikirjastot tallentuvat VBA-projektikohtaisesti tallennustiedostoon, joten niitä ei tarvitse ladata työasemakohtaisesti tai suoritettaessa ohjelmaa uudelleen. Sovelluksen jatkokehityksen yhteydessä tai koodia hyödyntäessä muissa sovelluksissa ja mahdollisten ohjelmistopäivitysten yhteydessä voidaan kirjastoja kuitenkin joutua aktivoimaan. Aktivointi tapahtuu Visual Basic Editorin ”Tools” alasvetovalikon kohdasta ”References” kuvan 13 mukaisesti. Siirtyminen Visual Basic Editoriin Excelistä tapahtuu erikseen aktivoitavan ”kehitystyökalut” -valikon kautta tai vaihtoehtoisesti ALT+F11 pikakomennolla.



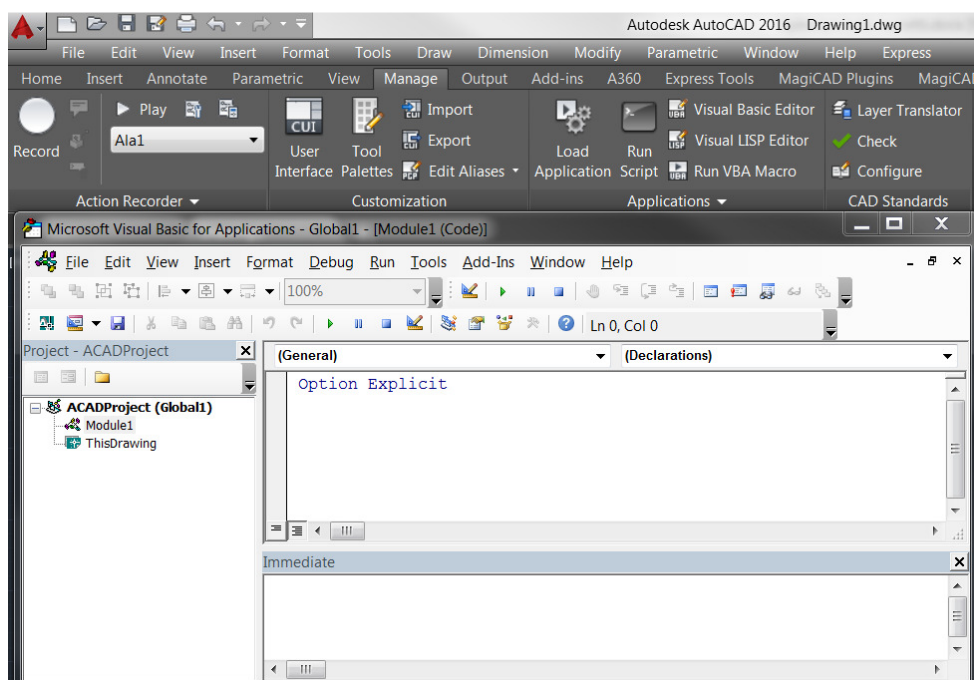
Kuva 13. VBA-referenssikirjasto löytyy Visual Basic Editorin ”Tools” -valikosta.

Sähkötilojen LVI-laskentasovelluksessa on ladattuna kuvan 14 mukaiset referenssikirjastot.



Kuva 14. LVI-laskentasovellukseen ladatut VBA-referenssikirjastot.

LVI-laskentasovelluksessa on tiedonvaihtoa Excelin ja Autodeskin Autocad -ohjelmiston välillä. Kuten kohdassa 6.2 on mainittu, tulee Autocadiin ladata lisäosa, ennenkuin VBA-sovellukset toimivat. Tämän raportin kirjoittamishetkellä lisäosa on ladattavissa maksutta Autodeskin internetsivuilta. Tiedoston lataamisen jälkeen tulee .exe -tiedosto asentaa työasemalle. Asennuksen jälkeen on Visual Basic Editor käytettävissä myös Autocadin puolella. Visual Basic Editor löytyy Autocad ohjelmiston valikosta ”manage”.



Kuva 15. Visual Basic Editor Autocad -ohjelmistossa.

8.2 Laskentasovelluksen etulehti

Laskentasovelluksen etulehti on esitetty kuvassa 16 sekä tulostettuna liitteessä 3. Kuvassa 16 etulehti on jaettu kahdeksaan numeroituun osaan, joihin viitataan seuraavissa kappaleissa.

Laskentasovelluksen etulehdelle on koottu lähtötietoja ja tuloksia, joita käytetään yhteisesti eri tiloille. Etulehden osaan 1 syötetään projektin numero, asiakkaan tiedot, sekä projektin nimi. Lisäksi osiossa 1 on laskennan laatijan tunnistetiedot, laskentataulukon revisio ja revision päivämäärä.

Laskentasovelluksen etulehden osaan 2 määritetään oletusolosuhteet:

- mitoittava ulkolämpötila ja ulkoilman suhteellinen kosteus talvella
- mitoittava ulkolämpötila ja ulkoilman suhteellinen kosteus kesällä
- sisälämpötila kesätilanteessa, tarkoittaen korkeinta sallittua huonelämpötilaa
- sisälämpötila talvitilanteessa, tarkoittaen matalinta sallittua huonelämpötilaa
- sisäilman suhteelliset kosteusarvot kesä- ja talvitilanteessa.

Ulkoilman mitoittavat olosuhteet ovat kaikille tiloille samat. Sisäilman olosuhteita voidaan muokata myöhemmin tilakohtaisesti erillisellä huonelomakkeella. Osassa 2 on lisäksi määritetty raitisilman esilämmityslämpötila (ks. luku 5) ja vastaava suhteellinen kosteus syöttöarvona. Vallitseva ilman kokonaispaine on viimeinen toisen osan syöttötieto.

17001 Metropolia Ammattikorkeakoulu Opinnäytetyö, laskentasovelluksen laatiminen				Matti Holma Revisio 1 3.4.2017	
osa 1					
Olosuhteet:					
Ulkolämpötila, talvi	-26 (°C)	Kosteus, RH	65 %	Etulämmitys	12 (°C)
Sisälämpötila, talvi	20 (°C)	Kosteus, RH	30 %	Kosteus, RH	10 %
Ulkolämpötila, kesä	28 (°C)	Kosteus, RH	65 %	Ilmanpaine	1013,25 (hPa)
Sisälämpötila, kesä	25 (°C)	Kosteus, RH	45 %		
osa 2					
Kerroskorkeudet:			Lämmönläpäisykertoimet:		
Kerroskorkeus, 0. krs	2000 (mm)	AutoCAD	US1	0,17 (W/m²K)	Järjestelmä: Ylipaineistusilma summa 917 (l / s) Ylipaineistusilma Qm 1,065 (kg / s) Kiertoilma summa 1767 (l/s) Kiertoilma Qm, kesä 2,085 (kg / s) Kiertoilma lämpötila, kesä 25,00 (°C) Kiertoilma kosteus, kesä 0,0089 (kg _v / kg) Kiertoilma kosteus, kesä ~ 45 % (RH) Kiertoilma Qm, talvi 2,120 (kg / s) Kiertoilma lämpötila, talvi 20,00 (°C) Kiertoilma kosteus, talvi 0,0043 (kg _v / kg) Kiertoilma kosteus, talvi ~ 30 % (RH)
Kerroskorkeus, 1. krs	2100 (mm)	AutoCAD	US2	0,21 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 2. krs	2200 (mm)	AutoCAD	VS1	0,7 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 3. krs	2300 (mm)	AutoCAD	VS2	0,8 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 4. krs	2400 (mm)	AutoCAD	Ikkuna1	1 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 5. krs	2500 (mm)	AutoCAD	Ikkuna1	1,5 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 6. krs	2600 (mm)	AutoCAD	Ovi1	1 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 7. krs	2700 (mm)	AutoCAD	Ovi2	1,5 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 8. krs	2800 (mm)	AutoCAD	AP1	0,17 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 9. krs	2900 (mm)	AutoCAD	AP2	0,2 (W/m²K)	
Kerroskorkeus, 10. krs	3000 (mm)	AutoCAD	YP1	0,09 (W/m²K)	
			YP1	0,15 (W/m²K)	
Sekoituslämpötila, kesä 26,0 (°C)			Sekoituslämpötila, talvi 17,3 (°C)		
Sekoituskosteus, kesä 0,0111 (kg _v /kg)			Sekoituskosteus, talvi 0,0032 (kg _v /kg)		
Sekoituskosteus, kesä ~ 53 % (RH)			Sekoituskosteus, talvi ~ 26 % (RH)		
Sekoitus entalpia 54,39 (kJ / kg)			Sekoitus entalpia 25,45 (kJ / kg)		
osa 3					
Paineenkesto:					
Tilojen paineenkesto	xxx (Pa)				
osa 4					
osa 5					
osa 6					
osa 7					
Paineistus:					
Normaalitiiveys	x (1/h)				
Parannettu tiiveys	y (1/h)				
Erittäin tiivis rakenne	z (1/h)				
osa 8					

Kuva 16. Näkymä laskentasovelluksen etulehdestä ja osien jaottelu.

Etulehden osuudessa 3 määritetään oletushuonekorkeudet. Laskentasovellus on rajattu tukemaan korkeintaan 10-kerroksisia sähkötiloja. Kerroskorkeuksia voidaan muuttaa myöhemmin tilakohtaisesti, mikäli kerrokset eivät ole geometrialtaan tasakorkeita.

Etulehden osassa 3 on hyödynnetty ensimmäisen kerran VBA-koodia, sillä kerroskorkeudet voidaan osoittaa aktiivisena avoimna olevasta Autocad-tiedostosta painamalla

vastaavan kerroksen kohdalla olevaa ”Autocad” -lomakeohjauspainiketta. ”Autocad” -lomakeohjauspainikkeeseen liitetty VBA-koodi on liitetty seuraavassa jaoteltuna osiin 1.1–1.4.

Kerroskorkeuden mittaustulos tulee kohdentaa oikeaan kohdesoluun. Koska jokaisen ”Autocad” lomakeohjauspainikkeeseen on liitetty sama koodi, määritetään kohdesolu aktivoimalla lomakeohjauspainikkeen vasempaan ylänurkkaan kohdistuva solu.

```
Sub kerroskorkeus_Click()  
    'valitaan painikkeen alla oleva solu tulosten kohdentamiseksi  
    Dim r As Range  
    Set r = ActiveSheet.Buttons(Application.Caller).TopLeftCell  
    r(1, -1).Select
```

Koodi 1.1. Aktiivisen solun kohdentaminen painettaessa lomakeohjauspainiketta.

Muuttujille määritetään nimet ja tietotyypit, jonka jälkeen muuttujiin voidaan viitata nimellä. Tietotyyppi tulee valita siten, että se tukee tietosisältöä, mutta on ohjelman muistinkäytön kannalta mahdollisimman yksinkertainen.

```
Dim acadApp As AcadApplication  
Dim acadDWG As AcadDocument  
  
'määritetään pisteelle 1 muuttuja  
Dim acadKorkeus1 As Variant  
  
'määritetään pisteelle 2 muuttuja  
Dim acadKorkeus2 As Variant  
  
'yläreunan x ja y koordinaatit  
Dim yläreuna0 As Double, yläreuna1 As Double  
'alareunan x ja y koordinaatit  
Dim alareuna0 As Double, alareuna1 As Double  
  
'määritetään x ja y vektorit  
Dim vektori0 As Double, vektori1 As Double
```

Koodi 1.2. Muuttujien määrittäminen.

Excel -taulukosta siirrytään Autocadin puolelle mittaamaan huonekorkeutta. Laskenta-sovellus aktivoi Autocad-ohjelman ”GetObject” -komennolla. Mikäli Autocad-ohjelma ei ole valmiiksi avattuna, seuraa virhe. Koska on oletettavaa, että kyseisiä virheitä syntyy useasti, ohitetaan virhe ja käsitellään tilanne, jossa Autocad ei ole avoinna erikseen. Menettely toistetaan Autocad-dokumentin kohdalla (35, s. 43).

```

'Aktivoidaan AutoCad.

'ohitetaan virhetilanteet (virhe, jos AutoCAD ei ole käynnissä)
    On Error Resume Next
    Set acadApp = GetObject(, "AutoCAD.Application")
'palautetaan virhekäsittely oletukseksi
    On Error GoTo 0

'Mikäli AutoCad ei ole käynnissä, kehoitetaan käynnistämään.
If acadApp Is Nothing Then
    MsgBox (".dwg -tiedosto tulee olla avattuna!")
    Exit Sub
End If

'Asetetaan acadDWG aktiivikseksi dokumentiksi
On Error Resume Next
Set acadDWG = acadApp.ActiveDocument
acadApp.WindowState = acMax
acadDWG.Visible = True
On Error GoTo 0

'Mikäli AutoCadissa ei ole dokumenttia avoinna, kehoitetaan käynnistämään manuaalisesti
If acadDWG Is Nothing Then
    MsgBox (".dwg -tiedosto tulee olla avattuna ennen mittaus-toimenpiteen suorittamista!")
    Exit Sub
End If

```

Koodi 1.3. Avoinna olevan Autocad-ohjelman aktivoiminen.

Koodiosien 1.1 avulla on saatu aktiivinen .dwg -tiedosto aktivoitua. Koodiosan 1.4 avulla määritetään kahden pisteen x- ja y-koordinaatit ja luodaan niistä vektorit. Huonekorkeuden määrittämiseen käytetään Pythagoraan lauseen mukaisesti vektoreiden neliöiden summasta laskettua neliöjuurta. Koodin ensimmäisessä versiossa huomioitiin pelkästään muutos mallinnusavaruuden y-akselilla. Mallinnuksen yleistymisen myötä kuitenkin erilaiset käännetyt koordinaatistot ovat yleistyneet, jolloin y-akseli ei välttämättä vastaa rakennuksen pystysuoraa korkeutta. Z-akselia ei ole huomioitu tässä, koska 2D-näkymässä työskenneltäessä, Autocad *"Osnap"*-tartunnat johtavat herkästi virheellisten pisteiden osoittamiseen z-akselilla. Z-akselilla saattaa olla useita päällekkäisiä tartuntapisteitä samoilla x- ja y-koordinaateilla.

Ohjelman osassa 1.4 Autocad-dokumentti on aktivoitunut ja komentorivillä, sekä dynaamisessa, hiiren liikettä seuraavassa ohjeikkunassa lukee kehote: "Osoita kerroksen yläreuna". Kun yläreuna on osoitettu, osoitetaan kehotuksen mukaisesti huoneen alareuna. Lopuksi kerroskorkeus tulostuu aktiiviseen Excel-soluun.

```

acadKorkeus1 = acadApp.ActiveDocument.Utility.GetPoint(, "Osoita ker-
roksen yläreuna")

yläreuna0 = acadKorkeus1(0) ' yläreuna x
yläreuna1 = acadKorkeus1(1) ' yläreuna y

acadKorkeus2 = acadApp.ActiveDocument.Utility.GetPoint(, "Osoita ker-
roksen alareuna")

alareuna0 = acadKorkeus2(0) ' alareuna x
alareuna1 = acadKorkeus2(1) ' alareuna y

vektori0 = yläreuna0 - alareuna0 ' yläreuna x - alareuna x
vektori1 = yläreuna1 - alareuna1 ' yläreuna y - alareuna y
ActiveCell.Value = Sqr(vektori0 ^ 2 + vektori1 ^ 2)
End Sub

```

Koodi 1.4. Huonekorkeuden määrittäminen kahden pisteen koordinaattien avulla.

Laskentasovelluksen etulehden osa 4 on varaus mahdollisesti myöhemmin toteutettavan lämpöhäviölaskelman rakenteiden U-arvojen oletusarvoille. Lämpöhäviölaskelmaa ei toteuteta tässä vaiheessa ja osa 4 mahdollisesti jätetään tyhjäksi käyttöönotettavassa versiossa sovelluksesta.

Etulehden osassa 5 on määritetty kiertoilmakojeille palaavan ilman olosuhteet. Ilman olosuhteet määritetään luvun 7 laskentakaavojen mukaisesti. Eri tilojen kiertoilman massavirrat ja olosuhteet eri tilanteissa summataan Excel-taulukon piilotetuilla sarakkeilla. Ilman olosuhteet määritetään osin suoraan osan 5 soluihin syötettävien kaavojen avulla ja osin piilotetuilla aputaulukkoilla, kuten kuvassa 17. Kuvan 17 mukainen alkupe-
räinen laskentataulukko on laadittu Metropolia Ammattikorkeakoulun ”LVI-mallinnus ja -simulointi”-kurssin tuntiharjoituksena. Taulukon laskenta on tarkastettu tämän opin-
näytetyön yhteydessä ja graafista ulkoasua on muokattu.

Sekoitusilman entalpia (kesätilanne, jäähdytys):							
Kokonaispaine	Lämpötila	Lämpötila	Suhteellinen	kosteus	Apusuureet		
p_{kok}	t_u	T_u	RH	ϕ	M_{ki}	M_{vh}	R_u
(Pa)	(°C)	(K)			(kg / kmol)	(kg / kmol)	(J / (kmolK))
101325	26,01413118	299,1641312	53 %	53 %	28,964	18,016	8314,5
Vesihöyryn kylästyspaine	Vesihöyryn osapaine	Kuivan ilman osapaine	Kuivan ilman tiheys	Vesihöyryn tiheys	Kostean ilman tiheys	Absoluuttinen kosteus	Entalpia
p_{vh}	p_{vh}	p_{ki}	ρ_{ki}	ρ_{vh}	ρ_{kok}	x	h
(Pa)	(Pa)	(Pa)	(kg _{ki} / m ³)	(kg _{vh} / m ³)	(kg / m ³)	(kg _{vh} / kg _{ki})	(kJ / kg _{ki})
3354	1772	99553	1,159	0,013	1,172	0,01107143	54,39

Kuva 17. Sekoitettun ilmvirran olosuhteiden määrittämisessä käytettävä aputaulukko.

Etulehden osassa 6 määritetään etulämmitettyyn raitisilmaan sekoitetun kiertoilman massavirrat ja olosuhteet kesä- ja talvitilanteessa. Laskenta perustuu luvun 7 kaavoihin. Osan 6 toteutus vastaa osan 5 toteutusta.

Etulehden osassa 7 ja 8 määritetään kaasupalonsammutusjärjestelmän paineenpurkauspeltien mitoituksessa käytettävä rakenteiden paineenkeston oletusarvo, sekä yli-paineistusilmavirran määrittämisessä käytettävät kokemusperäiset yli-paineistuskertoimet. Syötettävät arvot ovat oletusarvoja, joita voidaan muuttaa myöhemmin tilakohtaisesti. Ylipaineistuskertoimet voidaan määrittää kolmelle eri rakennetyypille. Kommenttikenttään on tallennettu ohjeellisia arvoja erilaisille rakenteille.

8.3 Laskentasovelluksen tilakohtainen lähtötieto- ja laskentalomake

Laskentataulukon toisella tulostuvalla sivulla on kuvan 18 mukainen lomakeohjauspainike ”*lisää laskettava tila*”. Lomakeohjauspainike kutsuu koodin 2 mukaisen komentosarjan, aliohjelman nimeltä ”*Sähkötila ()*”.

Paineenkesto:				Paineistus:			
Tilojen paineenkesto	xxx	(Pa)		Normaalitiiveys	x	(1/h)	
				Parannettu tiiveys	y	(1/h)	
				Erittäin tiivis rakenne	z	(1/h)	
Lisää laskettava tila							

Kuva 18. Lomakeohjauspainike ”*Lisää laskettava tila*”.

Aliohjelma ”*Sähkötila ()*” valitsee painikkeen alla olevan solun tulosten kohdentamiseksi ja kutsuu esiin lomakkeen, jolla syötetään tietoja uudesta sähkötilasta.

```
Sub Sähkötila()
'Laskettavan tilan lisäys sähkötilojen laskentaohjelmaan

'valitaan painikkeen alla oleva solu tulosten kohdentamiseksi
Dim r As Range
Set r = ActiveSheet.Buttons(Application.Caller).TopLeftCell
r(0, 2).Select

'Tuodaan UserForm "UusiSähkötila" näkyviin
UusiSähkötila.Show
End Sub
```

Koodi 2. ”*UusiSähkötila*” nimisen lomakkeen kutsuminen aliohjelmalla ”*Sähkötila ()*”.

”UusiSähkötila” -nimiseen lomakkeeseen tarkennetaan etulehdelle syötettyjä oletusarvoja sekä lasketaan uusia lähtötietoja tilalle. Lomakkeen tietojensyöttöosio on esitetty kuvassa 19.

Tilan numero:

Tilatyyppi:

Tilan nimi:

Kerros: Oletuskorkeus: 2200 mm

Pinta-ala: m² Tilavuus: 110 m³

Kerroskorkeus: mm ☒ Kerroksen oletus

Lämpötila max: °C ☐ Rakennuksen oletus

Lämpötila min: °C ☒ Rakennuksen oletus

Paineenkesto: Pa ☐ Rakennuksen oletus

Rakenne:

Sisäiset lämpökuormat: kW

Ulkoiset lämpökuormat: kW

Lämpökuormat yhteensä: 20,2 kW

Excel **VALMIS**

Kuva 19. Tilakohtainen tietojensyöttölomake.

Lomakkeen oletusarvot on määritetty koodeissa 3.1 ja 3.2:

```
Private Sub UserForm_Initialize()
With CombTilatyyppi
.AddItem "Valitse tila"
.AddItem "Sähkötila"
.AddItem "Akkutila"
.AddItem "UPS / DC-tila"
.AddItem "Automaatiotila"
.AddItem "Huoltotila"
.AddItem "Kaapelitila, suljettu"
.AddItem "Kompensointitila"
.AddItem "IV-konehuone"
.AddItem "Muu tila"
.ListIndex = 1
End With
```

Koodi 3.1. Lomakkeessa esiintyvän alasvetovalikon valintavaihtoehtojen määrittäminen.

```
TilaNimi.Text = "Sähkötila"
CBOletuskerros.Value = True
```



```

CheckBoxPaineenKesto = True
CheckBoxMinLT = True
CheckBoxMaxLT = True
TXtUlkoiset.Text = 0
TxtSisäiset.Text = 0

With CombKerros
    .AddItem "0"
    .AddItem "1"
    .AddItem "2"
    .AddItem "3"
    .AddItem "4"
    .AddItem "5"
    .AddItem "6"
    .AddItem "7"
    .AddItem "8"
    .AddItem "9"
    .AddItem "10"
    .ListIndex = 0
End With

With CombRakenne
    .AddItem "Paroc elementti"
    .AddItem "Betonielementti"
    .AddItem "Paikallavalubetoni"
    .ListIndex = 0
End With

End Sub

```

Koodi 3.2. Lomakkeessa esiintyvien valintaruutujen ja tietosyöttöruutujen oletusarvot.

Lomaketta ladattaessa ovat valikkojen oletusarvot valittuina. Ohjelman testaamista varten numeeriset tietoaalueet on täytetty arvolla 0. Sovelluskehityksen aikana kyseinen lomake on kutsuttu kymmeniä, ellei satoja kertoja. Esitetyillä numeerisilla arvoilla on vältetty ylimääräistä testitietojen syöttämistä.

Lomakkeen sisällä olevien valintaruutujen tulee osoittaa, onko numeerisessa syöttökentässä oleva arvo rakennuksen oletusarvo. Muutettaessa numeerista arvoa oletusarvosta, tulee oletusarvo merkinnän poistua. Valittaessa oletusarvo valintaruudusta, tulee numeerisen arvon päivittyä. Mikäli käsin syötettävä numeerinen arvo vastaa oletusarvoa, tulee valintaruudun osoittaa jälleen oletusarvoa. Esimerkkinä toiminnosta käytetään tilan sisälämpötilan määrittämiseen käytettäviä kaavoja 4.1 ja 4.2. Samaa periaatetta on käytetty myös muiden lähtötietojen osalla.

```

Private Sub CheckBoxMinLT_Click()
Dim r1 As Range
Set r1 = ThisWorkbook.Sheets("Etulehti").[MinSisälämpötila]
If CheckBoxMinLT.Value = True Then
    txtMinLämpötila.Text = r1.Value
End If
End Sub

```

Koodi 4.1. Valittaessa oletusarvo minimilämpötilan valintaruudusta, minimilämpötila muutetaan oletusarvoon.

```

Private Sub TxtMinLämpötila_Change()
Dim r1 As Range
Set r1 = ThisWorkbook.Sheets("Etulehti").[MinSisälämpötila]
If txtMinLämpötila.Text = r1.Value Then
    CheckBoxMinLT = True
Else
    CheckBoxMinLT = False
End If
End Sub

```

Koodi 4.2. Muutettaessa käsin tai Autocadin kautta minimilämpötilan numeerista arvoa, päivittyy oletuslämpötilan valintaruutu.

Huonetilan kerrokorkeus voidaan osoittaa lomakkeessa tilakohtaisesti, mikäli arvo poikkeaa oletusarvosta. Toiminto on periaatteiltaan vastaava kuin laskentasovelluksen etulehdellä. Laskentasovelluksen monimutkaisin osuus on pinta-alan määrittäminen lomakkeeseen Autocad-ohjelmasta osoittamalla. Käytännössä ohjelmaisuus on toteutettu siten, että osoitetaan jokaiseen nurkkaan pisteet Autocadissa, nurkkapisteiden määrä voi olla 4–15. Osoitetuista pisteistä laaditaan muuttujat VBA-koodiin, joiden perusteella piirretään Autocadiin *"polyline"*-objekti, joka lopuksi suljetaan. Suljetulla *"polyline"*-objektilla on ominaisuus pinta-ala, joka vastaa tässä tapauksessa tilan pohjapinta-alaa.

Toiminto on toteutettu kaavaosien 5.1–5.6 mukaisesti. Nurkkapisteiden ennalta tuntemattomasta määrästä johtuen koko koodi on 7 sivua pitkä rivivälillä 1 ja ilman tyhjiä rivejä. Koodista on poimittu tähän oleellimmat osat. Kaavassa 5.1 määritetään muuttujat.

```

Private Sub CBPintaAla_Click()
Dim acadApp As AcadApplication
Dim acadDWG As AcadDocument
Dim Polyl As AcadLWPolyline
Dim polyArea As Double
Dim P1 As Variant, P2 As Variant, P3 As Variant, P4 As Variant
Dim MSE As Excel.Application
Dim K1 As Integer

```

Koodi 5.1. Autocadin kautta tehtävän tilan pinta-alan määrittämisessä määritettävät muuttujat.

Seuraavaksi aktivoidaan Autocad-dokumentti, kuten koodissa 1.3. Tulevassa koodissa nostetaan Excelin VBA-ponnahdusikkuna esiin Autocad-ohjelman ollessa aktiivisena. Autocadin ollessa aktiivisena ponnahdusikkuna jää muiden ohjelmien taustalle, tehtäväpalkkiin vilkkumaan. Ongelman estämiseksi Excel-ikkuna minimoidaan siirryttäessä Autocadiin ja jälleen maksimoidaan ennen ponnahdusikkunan näyttämistä. Toimenpiteen seurauksena ponnahdusikkunan valinnat on tehtävissä ilman ylimääräisiä ohjelmien selauksia. Koodissa 5.2 minimoidaan Excel ja tuodaan Autocad näkyviin:

```

Set MSE = GetObject(, "Excel.Application")
MSE.ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
acadApp.Visible = True

```

Koodi 5.2. Excelin ikkunan minimoiminen ja Autocadin sovelluksen tuominen näkyviin.

Koodin osassa 5.3 osoitetaan neljä ensimmäistä nurkkapistettä. Autocad-komentorivillä sekä dynaamisessa, hiiren liikettä seuraavassa ohjeikkunassa on ohjeistusta:

```

P1 = acadDWG.Utility.GetPoint(, vbCrLf & "Osoita huoneen ensimmäinen nurkka")
P2 = acadDWG.Utility.GetPoint(, vbCrLf & "Osoita huoneen toinen nurkka")
P3 = acadDWG.Utility.GetPoint(, vbCrLf & "Osoita huoneen kolmas nurkka")
P4 = acadDWG.Utility.GetPoint(, vbCrLf & "Osoita huoneen neljäs nurkka")

```

Koodi 5.3. Nurkkapisteiden osoittaminen Autocadissa.

Neljän nurkkapisteen jälkeen ohjelma kysyy ponnahdusikkunassa onko nurkkapisteitä lisää. Vaihtoehtoina on osoittaa lisää pisteitä tai palata lomakkeeseen (koodin osa 5.4).

```

Set MSE = GetObject(, "Excel.Application")
MSE.ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
K1 = MsgBox("Kaikki nurkkapisteet tässä? Mikäli haluat valita lisää
pisteitä, valitse EI. Jos olet valmis valitse KYLLÄ", vbYesNo)

```

Koodi 5.4. Ponnahdusikkunan koodi, joka tiedustelee onko tilassa lisää nurkkapisteitä.

Nurkkapisteitä osoitetaan, kunnes huoneen kaikki nurkat on osoitettu. Kun pisteet on valittu, määritetään pisteet muuttujiksi, piirretään polyline-objekti ja siirretään suljetun polyline-objektin pinta-ala täyttöalueeseen. Lopuksi polyline poistetaan Autocad-dokumentista. Koodissa huomioidaan, että normaalisti polyline-objektin pinta-ala ilmoitetaan neliömillimetreissä (koodi 5.5).

```

If K1 = vbYes Then
Dim points15(1 To 30) As Double
points15(1) = P1(0): points15(2) = P1(1)
points15(3) = P2(0): points15(4) = P2(1)
points15(5) = P3(0): points15(6) = P3(1)
points15(7) = P4(0): points15(8) = P4(1)
points15(9) = P5(0): points15(10) = P5(1)
points15(11) = P6(0): points15(12) = P6(1)
points15(13) = P7(0): points15(14) = P7(1)
points15(15) = P8(0): points15(16) = P8(1)
points15(17) = P9(0): points15(18) = P9(1)
points15(19) = P10(0): points15(20) = P10(1)
points15(21) = P11(0): points15(22) = P11(1)
points15(23) = P12(0): points15(24) = P12(1)
points15(25) = P13(0): points15(26) = P13(1)
points15(27) = P14(0): points15(28) = P14(1)
points15(29) = P15(0): points15(30) = P15(1)
Set Polyl = acadDWG.ModelSpace.AddLightWeightPolyline(points15)
Polyl.Closed = True
polylArea = Polyl.Area / 1000000
TxtPintaAla.Text = (polylArea)
TxtPintaAla.Text = Format(TxtPintaAla, "0.000")
Polyl.Delete
Exit Sub

```

Koodi 5.5. Pinta-alan määrittäminen osoitetuista nurkkapisteistä.

Mikäli käyttäjä yrittää syöttää useampia kuin 15 nurkan tiloja, antaa ohjelma virheilmoituksen (koodi 5.6).

```

Else
MsgBox ("Tuetaan maksimissaan 15 nurkan huoneita, mittaa pinta-ala kä-
sin ja täytä ruutuun")

```

Koodi 5.6. Nurkkapisteiden osoittaminen on rajoitettu 15 nurkkapisteeseen.

Tilakohtaiseen lomakkeeseen syötetyt tiedot viedään Exceliin painamalla ”Valmis” -lomakeohjeuspainiketta. Lomakeohjausobjektin painamisen seurauksena käynnistyy aliohjelma ”CbExceliin_Click()”.

”CbExceliin_Click()” aliohjelma sisältää runsaasti koodia, koska aliohjelmalla siirretään kaikki tilakohtaisen lomakkeen tiedot tilakohtaiseen taulukkoon. Esimerkki tilakohtaisesta taulukosta on esitetty kuvassa 20 ja lisäksi tulosteena liitteessä 5.

Lisää laskettava tila	006 Sähkötila			Kerros: 2			
	Pinta-ala	500 (m²)	Huonekorkeus	2200 (mm)	Tilavuus	1100 (m³)	
Muokkaa tilaa	Sähkötila	1 #	Paineistuskerroin	1 (1/h)	Raitisilma	306 (l/s)	
	Sisälämpötila	25 max, (°C)	Sisäänpuhallus	+15 min, (°C)	Delta T	10 (°C)	
Kopio tila	Sisäiset kuormat	25 (kW)	Ulkoiset	1,7 (kW)	Lämpökuormat	26,7 tot, (kW)	
	Sisälämpötila, min	20 (°C)	Paineenkesto	800 (Pa)	Lämpöhäviöt	3 (kW)	
	Ylip. jäähdytykseen	50%	Jäähd. Varmennus	50% (2x)	Erillispoisto	0 (l/s)	~
	Kiertoilma tulo	1036 (l/s, KsK1)	Kiertoilma tulo	1036 (l/s, KsK2)	Tuloilma	2378 (l/s)	
	Kiertoilma poisto	1036 (l/s, KsK1)	Kiertoilma poisto	1036 (l/s, KsK2)	Poistoilma	2072 (l/s)	
	Tuloilma, talvi	21,2 (°C)					

Kuva 20. Tilakohtainen laskentataulukko.

Tiedonsiirto aliohjelman ja tilakohtaisen laskentataulukon kohdalla kulminoituu muutamia sovelluksen käytettävyyteen liittyviä haasteita. Tietojen syöttö lomakkeeseen on jäsennellympää ja mielekkäämpää, kuin suoraan Excel-taulukkoon. Projekteissa kuitenkin lähtötiedot saattavat muuttua laskelmien valmistuttua, jonka seurauksena laskelmia tulee päivittää projektin aikana. Tietojen muokkaamisen tulee olla luontevalla tavalla mahdollista.

Taulukon muokattavuuden vuoksi lomakkeessa esiintyvät valmiit laskentatoimenpiteet toimivat ainoastaan esikatselutoimintona. Kaikki lomakkeen laskentatoiminnot siirretään taulukon soluihin funktioina. Esimerkkinä tästä on koodin 6.1 mukainen kaavan syöttö Excel-soluun VBA-koodin kautta:

```
ActiveCell(10, 7).Value = "Poistoilma"
ActiveCell(10, 9).FormulaR1C1 = "=R[0]C[-4]+R[0]C[-7]+R[-2]C[0]"
ActiveCell(10, 10).Value = "(l/s)"
```

Koodi 6.1. Poistoilmavirtaa laskevan kaavan syöttäminen Excel-soluun VBA-koodilla.

Koska kaikki laskentatoiminnot syötetään Excel-soluihin kaavoina, eikä tulosten lukuvuonoina, voi käyttäjä halutessaan muokata lähtötietoja suoraan taulukkoon. Vaihtoehtoisesti käyttäjä voi myös avata lomakkeen muokattavaksi tilan olemassa olevilla tiedoilla lomakeohjauspainiketta ”Muokkaa tilaa” painamalla. ”Muokkaa tilaa” -lomakeohjaus-

painike lataa samanlaisen tilakohtaisen lomakkeen näkyviin ja täyttää lomakkeen taulukon arvoilla. Kun tilan tiedot on päivitetty, päivittyy taulukko aikaisemmalle paikalleen.

Muokattavuuden säilyttäminen aiheutti paljon lisätyötä sovelluksen kehitysvaiheessa. Excelin kaavojen syöttäminen VBA:n kautta on huomattavasti työläämpää, kuin suoraan Excelistä, koska VBA-koodin ei pysty osoittamaan lähtötieto- ja kohdesoluja. Taulukon määrittelemättömän sijainnin vuoksi kaikki lähtöarvot on syötetty suhteellisena lomaketta kutsuttaessa aktivoituun soluun.

Tulevissa projekteissa tulen hyödyntämään VBA-koodilla toteutettujen kaavojen syöttämisen sijasta esitetyt, piilotettuja Excel-tilakkeita, joihin täydennetään ainoastaan lähtötietoarvot. Muotoilut ja pysyvät kaavat toteutetaan valmiiksi piilotettuun taulukkoon. Työmäärä on marginaalinen verrattuna kokonaan koodilla suoritettuun taulukon täyttöön ja muotoiluun. Ohjelman suoritus on taulukoita kopiaimalla aavistuksen hitaampaa, mutta pienten taulukoiden kohdalla ei kyse ole merkittävästä erosta.

Kaavassa 6.2 on esitetty määritetyn solun muotoilua VBA-koodilla. Muotoiltavia alueita syntyy pienessäkin taulukossa huomattava määrä, koska kaikki erilaiset soluryhmät joudutaan käsittelemään omana alueenaan.

```
With Muokattavat5
    .Font.Size = 9
    .Font.Name = "Arial"
    .Font.Underline = False
    .Font.Color = RGB(0, 0, 0) 'musta fontti
    .Interior.Color = RGB(198, 224, 180) 'vaaleansininen solu
    .Borders(xlInsideHorizontal).Weight = xlThin
    .Borders(xlInsideHorizontal).Color = RGB(255, 255, 255)
    .Borders(xlInsideVertical).Weight = xlThin
    .Borders(xlInsideVertical).Color = RGB(255, 255, 255)
    .Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlThick
    .Borders(xlEdgeBottom).Color = RGB(255, 255, 255)
    .Borders(xlEdgeTop).Color = RGB(255, 255, 255)
    .Borders(xlEdgeTop).Weight = xlThin
    .Borders(xlEdgeTop).Color = RGB(255, 255, 255)
    .Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlThin
    .Borders(xlEdgeLeft).Color = RGB(255, 255, 255)
    .Borders(xlEdgeRight).Weight = xlThin
    .Borders(xlEdgeRight).Color = RGB(255, 255, 255)
End With
```

Koodi 6.2. Solujen muotoilu VBA-koodilla.

8.4 Piilotetut Excel-solut ja summasarakkeet

Laskentasovelluksen piilotettuihin Excel-soluihin on koottu tilakohtaisesti laskentatoimenpiteisiin liittyviä tietoja. Tiedot sijoitetaan kuvan 21 mukaisella jokaisen tilan kohdalla samoihin piilotettuihin sarakkeisiin.

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
Pinta-ala	Tilavuus	Raitisilma	Sisäiset	Ulkoiset	Kuormat TOT	Erillispoistot									
Pinta-ala	Tilavuus	Raitisilma	Sisäiset	Ulkoiset	Kuormat	Erillispoistot	Kiertoilma	KsK1	KsK2	QmK	QmT	KesäLT*Qmi	TalviLT*Qm	Kesä abs	Talvi abs
(m ²)	(m ³)	(l/s)	kuormat (kW)	kuormat (kW)	YHT. (kW)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(kg/s)	(kg/s)	(kgK/s)	(kgK/s)	(kgvh/s)	(kgvh/s)
500	1100	917	25	1,7	26,7	0	1767	883	883	2,0847	2,12	52,1167	42,4	0,01846	0,00917

Kuva 21. Piilotettuihin soluihin sijoitettuja tilakohtaisia tietoja.

Edellä olevien tietojen määrittämisessä esimerkiksi absoluuttisen kosteuden osalta hyödynnetään sivulla 56 esitetyn kuvan 17 kaltaisia ilman olosuhdetaulukoita, jotka ovat myös piilotettuina. Sarakkeiden tietoja summataan ja hyödynnetään etulehden osien 5 ja 6 ilmavirtojen olosuhteita määritettäessä.

8.5 Hiilidioksidipalonsammutusjärjestelmän mitoitus

Hiilidioksidipalonsammutusjärjestelmän mitoitusohjelma on tällä hetkellä erillinen kokonaisuus, joka perustuu luvussa 7 esitettyihin kaavoihin. Sovelluksella voidaan laskea sähkötilojen lisäksi myös muunlaisten suojattavien tilojen sammutusjärjestelmiä. Hiilidioksidipalonsammutusjärjestelmän mitoitusohjelmasta tullaan laatimaan pienoisversio sähkötilojen LVI-järjestelmien laskentaohjelmaan.

Hiilidioksidipalonsammutusjärjestelmän mitoitusosuus voidaan yksinkertaistaa sähkötilojen LVI-laskentasovellukseen, koska sähkötiloissa esiintyy rajallinen määrä palavia aineita ja tilatyyppejä. Tämän opinnäytetyön aikataulun puitteissa integraatiotyö jouduttiin kuitenkin rajaamaan erilliseksi kokonaisuudeksi, joka toteutetaan opinnäytetyön valmistuttua. Tavoitteena on, että yrityksen käyttöön lanseerattavassa ohjelmistoversiossa olisi kaasupalonsammutuksen osuus toteutettuna.

Erillisen CO₂-sammutusjärjestelmän laskentasovelluksen tilakohtainen tulostaulukko on esitetty kuvassa 22.

Tulokset:		
Sammutemäärä	244,992 (kg)	
Suunnittelupitoisuus	40 % (%)	
Pitoaika	600 (s)	
Purkausaika	60 (s)	
Paineenpurkausala	0,091 (m ²)	
Valitaan pellit:		
<i>Pyöreät pellit (tarkasta, että valitsemaasi kokoluokkaa on saatavilla)</i>		
Pellin koko Ø	Lukumäärä	Hyötypinta-ala
100	0 ▼	0 (m ²)
125	0 ▼	0 (m ²)
160	0 ▼	0 (m ²)
200	0 ▼	0 (m ²)
250	0 ▼	0 (m ²)
315	2 ▼	0,128398079 (m ²)
400	0 ▼	0 (m ²)
500	0 ▼	0 (m ²)
630	0 ▼	0 (m ²)
Paineenpurkausala yhteensä pyöreät		0,128398079 (m ²)
Kaikkien peltien pinta-ala yhteensä:		0,128398079 (m²)
Peltien pinta-ala: on riittävä, OK		

Kuva 22. Esimerkki CO₂-sammutusjärjestelmän laskentasovelluksella lasketuista tuloksista.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tunnistaa Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy:n suunnitteluprosessin laskentatoiminnoista kehitystarpeita, joihin voitaisiin vastata sovellusohjelmalla. Sovellusohjelmalle asetettiin tavoitteeksi syötettyjen lähtöarvojen tehokas hyödyntäminen ja käyttäjäystävällinen, toimiva sovelluskokonaisuus.

Työn tavoitteet saavutettiin hyvin. Suunnittelijakunnalle tehdyn kyselytutkimuksen myötä tunnistettiin useita kehityskohteita, jotka kirjattiin yrityksen kehityskohdeluetteloon. Kyselytutkimus toimi myös otollisena ympäristönä projektiin liittymättömien kehityskohdeiden esille nostamiseen. Työntekijöiltä saatu rakentava palaute suunnitteluprosessista on aina positiivinen asia.

Sovellusohjelmasta muodostui toimiva kokonaisuus. Sovellus on graafiselta ulkoasultaan ammattimainen ja luottamusta herättävä. Lähtötietojen syöttämien ja laskentaprosessi etenevät luonnollisella tavalla. Soveltuvilta osin lähtötietoja osoitetaan suoraan Autocad-ohjelmasta. Lähtötietojen muuttaminen projektin aikana onnistuu vaivatta.

Seuraavaksi ohjelma saatetaan yrityksen testikäyttöön, jonka aikana kirjataan mahdollisia ohjelmointivirheitä. Ohjelmaa päivitetään myös testikauden jälkeen käyttäjäpalautteen perusteella. Laskentasovellus on osa yrityksen suunnitteluprosessin metodeja, joihin pätee yrityksen laadunhallintajärjestelmän mukainen *jatkuvan parantamisen* periaate.

Projektin alkupuolella koin opinnäytetyöraportin laatimisen varsinaiseen ohjelmaan liittymättömänä taakkana, joka ei osaltaan palvele projektia. Opinnäytetyön edetessä havaitsin kuitenkin, että pakollinen teoriapohjan selvittäminen palveli myös itse sovelluksen laatimista. Opinnäytetyöraportin seitsemännen luvun laskentaprosessien käsittelyä voidaan käyttää kattavana aineistona ilman käyttäytymisestä ilmalämmityksen ja jäähdityksen ilmastointiprosesseissa, esimerkiksi nuorempia suunnittelijoita perehdyttäessä.

Raporttia laatiessa halusin kannustaa omalla esimerkilläni vastaavissa työtehtävissä toimivia insinöörejä sovelluskehitykseen. Suunnittelutoimistojen rutiineista löytyy massiivinen tehostuspotentiali, joka voidaan saavuttaa yksinkertaisella sovelluksella. Omia työtehtäviä tehostavan sovellusohjelman voi laatia, vaikka ei omaisikaan merkit-

täviä ohjelmointitaitoja. Toivon opinnäytetyöraportin kahdeksanteen lukuun liitettyjen VBA-koodiosuuksien selostuksineen auttavan eteenpäin sovellusohjelman laatijoita, jotka eivät vielä omaa laajoja ohjelmointitaitoja.

Opinnäytetyötä aloittaessa omasin olemattomat VBA-ohjelmointitaidot. Tätä yhteenvetokappaletta kirjoittaessa ovat taidot aavistuksen verran kehittyneemmät. Ohjelmointikielen hallitseminen on kuitenkin tavoite vasta kaukana tulevaisuudessa. Sovelluksen valmistuessa on ohjelmassa monia asioita, jotka toteuttaisin projektista saatujen kokemusten perusteella yksinkertaisemmalla tavalla.

Seuraavina sovelluskehityshankkeina suunnittelutoimistoon laaditaan tilojen lämpöhäviölaskuri sekä rakennusten ilmanvaihdon ilmavirtojen mitoitussovellus. Uusissa sovellushankkeissa hyödynnetään tässä opinnäytetyössä saatuja kokemuksia ja taitoja. Tämän projektin tiimoilta VBA-ohjelmointikielen käyttämisestä yrityksen sovellusten laati- misessa ilmeni haavoittuvuuksia. Koodin suojattavuus on heikko, joten sovelluksen pysymistä toimiston omassa käytössä ei voida taata. Lisäksi Autodeskin julkituomat suunnitelmat mahdollisesta Autocadin VBA-tuesta luopumisesta ohjaavat harkitsemaan muita ohjelmointiympäristöjä tulevissa sovelluksissa.

Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy:n suunnittelijakunta suorittaa yhä laskelmia ruutu- paperille. Suunnittelijakunta käyttää yhä moninaisia Excel-taulukoita. Monilta osin tällä yksittäisellä opinnäytetyöllä ei ole suurta vaikutusta yrityksen toimintaan. Sähkötilojen LVI-järjestelmät mitoitetaan kuitenkin jatkossa hallitusti siihen laaditulla sovelluksella. Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy on jälleen ottanut pienen askeleen kohti kokonais- valtaisesti hallittua suunnitteluprosessia.

Lähteet

- 1 Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy - verkkosivut. <<http://www.hallasaari.com>> Luettu 06.02.2017
- 2 Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE12. 2013. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 3 Sipola, Ville. 2012. LVI-suunnittelun mitoituskäytäntöjen yhtenäistäminen ja kohdennettujen apuvälineiden kehittäminen. Insinööritoimisto Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 4 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus LVI 11-10329. 2001. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 5 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus LVI 11-10472. 2011. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 6 Laadunhallintakäsikirja, revisio 3. 2010. Helsinki: Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy.
- 7 Neste Oil Oyj:n Naantalin öljynjalostamon ympäristölupahakemuksen päätös. 2007. Verkkodokumentti. Länsi-Suomen ympäristölupavirasto <www.ymparisto.fi/download/noname/%7B29450AB7-21D6-4FAF-85AA.../83953> 20.11.2007. Luettu 15.03.2017
- 8 Neste Oil Oyj:n Kilpilahden öljynjalostamon ympäristölupahakemuksen päätös. 2006. Verkkodokumentti. Länsi-Suomen ympäristölupavirasto <www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9A48A381-91CC-43F2-B284.../84216> 31.10.2006. Luettu 15.03.2017
- 9 Kodin keskimääräinen energiankulutus, Vattenfall - verkkosivut. <<http://www.vattenfall.fi/fi/keskimaarainen-sahkonkulutus.htm>> Luettu 15.03.2017
- 10 Kilpilahti Power Plant Ltd - verkkosivut. <<http://www.kilpilahtipowerplant.com>> Luettu 15.03.2017
- 11 Kauppala, Lauri. 2013. Käyttöönotto- ja koestusohjeistus Kilpilahden teollisuusalueen sähkökoestuksiin. Insinööritoimisto Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 12 Neste Oyj. 2008. Sähköistyksen yleisspesifikaatio muuntamoasennukset N-105.
- 13 PSK-2002. Sähkötilat enintään 1000V. 2002. Osa 2: paikallisakut. Helsinki: PSK Standardointiyhdistys Ry
- 14 SFS-EN 50272-2. Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. 2001. Osa 2: paikallisakut. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry
- 15 Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. Ilmastoinnin mitoitusperusteet LVI 30-10231. 1994. Helsinki: Rakennustieto Oy.

- 16 Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. Ilmastointijärjestelmät. LVI 31-10236. 1995. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 17 Sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. Kemiallisen suodattimen valinta. LVI 31-10237. 1995. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 18 Sprinklerilaitteistot, suunnittelu ja asentaminen. 2007. FK-CEA 4001: 2007-06. Helsinki: Finanssialan Keskusliitto
- 19 Hiilidioksidisammutuslaitteistot, suunnittelu ja asentaminen. 2010. FK-CEA 4007: 2010-05. Helsinki: Finanssialan Keskusliitto
- 20 Inerttikaasusammutuslaitteistot. 2015. FK-CEA 4008: 2015-04. Helsinki: Finanssialan Keskusliitto
- 21 SFS-Käsikirja 59. Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu. 2012. Palavat nesteet ja kaasut. Helsinki: Suomen Standardoimisliittot SFS Ry
- 22 Ruohomäki, Ari. 2009. Sähkölaitetilojen suojaus. Verkkodokumentti. Pohjola Vakuutus Oy < <http://www.eees.ee/FAILID/PDFid/11.05.09/AriRuohomaki.pdf>> Luettu 30.03.2017
- 23 Wikimedia Commons. 2007. Argonite automatic fire suppression system server room.jpg. Verkkodokumentti. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/Argonite_automatic_fire_suppression_system_server_room.jpg> 26.04.2017. Luettu 30.03.2017
- 24 Hagner, Börje. 2015. Kun isoisa Fläktiltä pajatuhottimen osti, LVI-alan historia-kooste. Verkkodokumentti. Rakennusinsinööriliitto RIL Ry <<http://www.ril.fi/media/files/seniorit/lvi-historiikki.pdf>> 24.10.2015. Luettu 12.02.2017
- 25 Järvinen, Henrikki. 2014. Excel ei ole enää entisensä. Verkkodokumentti. Innofactor <http://www.innofactor.fi/blogi/0/0/excel_ei_ole_ena_entisensa?language=fi> 24.02.2014. Luettu 06.02.2017
- 26 Webb, Jeff & Saunders, Steve. 2006. Programming Excel with VBA and .NET. Sebatopol: O'Reilly Media Inc.
- 27 Walkenbach, John. 2013. Excel 2013 Formulas. Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- 28 Walkenbach, John. 2013. Excel 2013 Power Programming with VBA. Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- 29 Barwell, F., Blair, R., Case, R., Crossland, J., Forgey, B., Hankinson, W., Hollis, B., Lhotka, R., McCarthy, T., Pinnock, J., Reynolds, M., Roth, J., Sheldon, B., Short, S., Narkiewicz, J., Ramachandran, R., Sempf, B. 2001. Professional VB.Net. Birmingham: Wrox Press Ltd.

- 30 Autodesk Knowledge Network. 2016. VBA support in AutoCAD 2011 up to 2017. Verkkodokumentti.
<<https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/VBA-support-in-AutoCAD-2011.html>> 08.09.2016. Luettu 30.03.2017
- 31 Laine, Lauramaria. 2011. Värien viestit. Värien tehokas käyttö viestinnässä. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
- 32 Laiho Esa-Matti. 1986. Tuntimoniste T-120-2. Mikkelin Teknillinen Oppilaitos / Ilmastointitekniikka.
- 33 Seppänen Olli. 1994. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: LVI-kustannus Oy.
- 34 Aalto Yliopisto. 2011. Teollisuuden energiatekniikka, Peruskaavat ja -käsitteet. Verkkodokumentti.
<https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/188122/mod_resource/content/1/Ene-59_4101_peruskaavat_ja_kasitteet.pdf> 2011. Luettu 02.04.2017
- 35 Taanila, Aki. 2013. Excel VBA-ohjelmointi. Verkkodokumentti. Excel Apu
<<http://myy.haaga-helia.fi/~taaak/vba/vba.pdf>>. 2013. Luettu 02.02.2017

Yrityksessä suoritettujen kyselytutkimusten vastaukset

Matti Holma Metropolia Ammattikorkeakoulu insinööri (YAMK) talotekniikka Kyselytutkimus 1								
<i>Listaa LVI-laskentatoimenpiteitä, joihin kaipaavat suunnitteluprojekteissa yksinkertaistusta tai laskentasovellusta</i>								
	Vastaaaja 1	Vastaaaja 2	Vastaaaja 3	Vastaaaja 4	Vastaaaja 5	Vastaaaja 6	Vastaaaja 7	Esiintymisiä
Laskentatoimenpide								
Pinta-ala ja tilavuuslaskenta	1							1
Tilojen "älykäs" pinta-alojen ja tilavuuksien syöttö ja muokattavuus mahdollisesti suoraan autocadista tilakohtaisesti			1				1	2
Lähtötietoihin lämpökuormat, laitekuormat, tilojen paineenkesto, atex-tilat, muut erityistilat			1					1
Tilojen lämpöhäviöt	1		1		1	1		4
Lämpöhäviöiden laskentataulukko kaipaisi yhdenmukaistamista, ohjeita ja esimerkkiarvoja. Esimerkiksi kerrosterkertoimen soluun voisi lisätä kommentin, jossa kerrotaan minkä mukaan se määräytyy. U-arvoille voisi lisätä kommentteja, jotka kertovat tyypillisiä arvoja tietyntyylisille rakennuksille jne. yhteenvetoon voisi lisätä häilytyksen mikäli W/m² -arvo on epärealistinen				1				1
Lämmitysjärjestelmän mitoitus, esim. lattialämmitykseen			1					1
Tilojen ulkoisten? -lämpökuormien laskenta	1							1
Jäähdytystarve tiloittain kokonaistarve			1			1		2
Lämpöhäviöt ei rakennusaineilla		1						1
Ilmalämmitys / ilmajäähdytys, jälkikäsitteily-yksiköiden mitoitus huomioiden kiertoilman sekoituspisteet							1	1
Paisunta- ja varolaitteet järjestelmittäin	1		1					2
Pumppujen virtaamat	1							1
Pumpun paineenkorotus syöttämällä tarvittavat arvot ja vetolaatikoista valitsemalla verkostossa olevia kertavastuksia. Tähänkin voisi laittaa vinkkejä kommentein.				1				1
Pumpun nostokorkeus. Ohjelma laskee korkeuseron ja pumppaamon sisäisten laitteiden yhteisen painehäviön sekä nostokorkeuden. Samalla ohjelma voisi ehdottaa putkikokoa pumpulle, mikäli virtaama tiedetään.					1			1
Pumppujen karkeat mitoitusarvot, nostokorkeudet ja virtaamat			1					1
Lämpö- ja jäähdytysjohtojen painehäviöt erilaisilla ainepitoisuuksilla		1						1
Kanavan ja Putkien virtausnopeudet /painehäviöt.					1			1
D2 mukaiset ilmamäärät tilan käyttötarkoituksen mukaisesti, (ehdottaa myös venttiiliä)		1			1			2
Tilojen ilmamäärät perusteineen koneittain	1		1			1		3
Ilmanvaihdon mitoitusperusteet (mihin perustuu; lämpökuormiin, määräyksiin, yms.) sovelluksesta pystyisi esim. valitsemaan mitä käytetään			1					1
Ilmamäärien tasapainotus alueittain, kerroksittain, rakennuksittain	1					1		2
Läpivientien mitoitus syöttämällä putki- / kanavakoko ja valitsemalla varusteita (PP:t, palomansetit, holkit, yms.) Tästä voisi tulosteena olla lista kaikista läpivienneistä rakennuksessa.				1				1
IV-kanavien ja putkien painot (eristettynä / ilman eristystä) ja kannakointivälit		1						1
Ilmanvaihdon ylipaineen poistopeltien mitoitus			1					1
Jäähdytysteho / ilmamäärä sisäänpuhallusilman lämpötilan mukaan		1						1

	Vastaaja 1	Vastaaja 2	Vastaaja 3	Vastaaja 4	Vastaaja 5	Vastaaja 6	Vastaaja 7	Esiintymä
Laskentatoimenpide								
Ilmavirtojen sekoituspisteet, lämpötilat ja entalpia-arvot			1					1
Kaasupalonsammutuksen CO ₂ ylipaineenpoistopellin / -peltien koko ja lukumäärä	1	1	1		1			4
Kaasupalonsammutuksen CO ₂ suutinmäärät	1		1					2
Kaasupalonsammutuksen CO ₂ runkoputkien mitoitus			1					1
Käyttövesijohtojen runkojen mitoitus vesikalusteiden perusteella			1					1
Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus/tehontarve				1				1
Viemäreiden virtaamien mitoitus, jätevesi, sadevesi			1					1
Ulkoalueiden viemäröinti. Syötettäisiin valuma-alueen pinta-ala ja materiaali. Outputtina mitoitusvirtaama ja putkikoko.				1	1			2
Max. Yhtäaikainen tehontarve sähkökeskuksissa				1				1
Kiertovesijohdon mitoitus, virtaama			1		1			2
Korkolaskuri? Voisi tarkistaa esim sadevesien korot nopeasti antamalla lähtökoron, putkikoon ja matkan.					1			1
Kanavan ääniongelmia? Voiko Cadiin luottaa tässä?					1			1
Rasvanerotuksen mitoitus selvemmäksi. Ohjelma kertoo minimi vaatimukset ja antaa NSx luvun?					1			1
Panospuhdistamon mitoitus?					1			1
Putkien materiaali muutokset kesken linjan? Miten vaikuttaa kokoon yms.					1			1
LVI-laitteiden kanavien putkien eristykset?					1			1
Pumppaamon varatilavuudet yms. (väestönsuojan varatilavuus)					1			1
Patterimitoitus sovellukseen. Normi ja extraprojekteilla.					1			1
Väestönsuojan LVI?					1			1
Lattialämmitys?					1			1
Raitisilma ja jäteilman ulkosäleiköt? Kuinka paljon suurempi kuin itse kanava?					1			1
Öljykattilan mitoitus, muut kattilat?					1			1
Käyttövedenlämmittimen mitoitus?					1			1
Vesikatolla olevien laitteiden etäisyydet?					1			1
Ilman kostutuksen tai kuivauksen tarve						1		1
upotettavien kaivoja / pumppaamoiden betonilaatan koon määrittäminen huomioiden noste						1		1
ylilämmönpoiston aukkojen kokoon määrittäminen (painovoimainen ilmanvaihto)						1		1
Off Topic; MagiCad yleispätevät projektitiedostot, jota kaikki käyttäisivät (kiinteät tunnuksat päätelaitteille, verkostoille yms.)			1					1
Off Topic; yhtenäiset dimensiotehtävät, jotka kaikilla käytössä			1					1
Off Topic; piirustusten esitystapojen yhtenäistäminen			1					1

Kyselytutkimuksen vastaukset jaoteltuna toimenpiteiden mukaisesti

Matti Holma Metropolia Ammattikorkeakoulu insinööri (YAMK) talotekniikka Kyselytutkimus 1		
<i>Laskentatoimenpiteet toimenpideluokittain jaoteltuna</i>		
Laskentatoimenpide	Esiintymä	Toimenpiteet
Tilojen lämpöhäviöt	5	Ohjelmaan
Lämmönläpäisykertoimet eri rakennetyypeillä	1	Ohjelmaan, sisällytetään lämpöhäviölaskentaan
Tilojen ilmamäärät perusteineen koneittain, tasapainotus, ilmalämmitys, lämpökuormien hallinta	5	Ohjelmaan, perusratkaisu ja erikoisratkaisut kuten ilmalämmitys ja yllämmönpoisto
Pinta-ala ja tilavuuslaskenta, toteutus mahdollisesti Autocad -avusteisesti	2	Ohjelmaan, sisällytetään lämpöhäviö ja ilmamäärälaskentaan
Jäähdystarve tiloitain kokonaistarve	3	Ohjelmaan, lämpökuormien hallinta-osioon, lähinnä tilat joissa paljon sisäisiä kuormia, erikoisratkaisut
Ilmalämmitys / ilmajäähdytys, jälkikäsitelly-yksiköiden mitoitus huomioiden kiertoilman sekoitusasteet	1	Ohjelmaan, sisällytetään ilmalämmitys ja lämpökuormien hallinta, erikoisratkaisut
Kaasupalonsammutuksen CO ₂ ylipaineenpoistopellin / -peltien koko ja lukumäärä + CO ₂ suutinmäärät	4	Ohjelmaan, erikoisratkaisut
Ilmavirtojen sekoitusasteet, lämpötilat ja entalpia-arvot	1	Ohjelmaan, tarvitaan ilmalämmityksen mitoituksessa
Lähtötietoihin lämpökuormat, laitekuormat, tilojen paineenkesto, atex-tilat, muut erityistilat	1	Ohjelmaan, hajautuu eri laskentatoimintojen alle
Pumppujen virtaamat ja paineenkorotus	3	Miniohjelma, ei yhteneviä lähtöarvoja, tarve toistuu
Ulkoalueiden viemäröinti. Syötettäisiin valuma-alueen pinta-ala ja materiaali. Outputtina mitoitusvirtaama ja putkikoko.	3	
Kiertovesijohdon mitoitus, virtaama	2	
Paisunta- ja varolaitteet järjestelmittäin	2	
IV-kanavien ja putkien painot (eristettynä / ilman eristystä) ja kannakointivälit	1	
Korkolaskuri? Voisi tarkistaa esim sadevesien korot nopeasti antamalla lähtökoron, putkikoon ja matkan.	1	
Rasvanerotuksen mitoitus, pumppaamon varatilavuus	1	
Ilman kostutuksen tai kuivauksen tarve	1	
upotettavien kaivoja / pumppaamoiden betonilaatan koon määrittäminen huomioiden noste	1	
Läpivientien mitoitus syöttämällä putki- / kanavakoko ja valitsemalla varusteita (PP:t, palomansetit, holkit, yms.) Tästä voisi tulosteena olla lista kaikista läpivienneistä rakennuksessa.	1	
Lämmitysjärjestelmän mitoitus, esim. lattialämmitykseen	2	

Laskentatoimenpide	Esiintymä	Toimenpiteet
Putkien ja kanavien painehäviöt erilaisilla ainepitoisuuksilla	2	Toissijainen, olemassa toimivia ilmaisapplikaatioita
Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus/tehontarve	2	Toissijainen, ei tarvetta taulukkolaskentaan lisätään ohjeistusta
Kaasupalonsammutuksen CO ₂ runkoputkien mitoitus	1	Toissijainen, putkistogeometrian mallintaminen hankalaa yleispätevästi Excelillä
Kanavan ääniongelmia? Voiko Cadiin luottaa tässä?	1	Toissijainen, Magicad äänitasojen laskenta
Patterimitoitus sovellukseen. Normi ja extraprocenteilla.	1	Toissijainen, valmistajien applikaatit
ylilämmönpoiston aukkojen kokoon määrittäminen (painovoimainen ilmanvaihto)	1	Toissijainen, kyseenalainen ratkaisu ylilämmönpoistoon
Pumpun nostokorkeus. Ohjelma laskee korkeuseron ja pumpaamon sisäisten laitteiden yhteisen painehäviön sekä nostokorkeuden. Samalla ohjelma voisi ehdottaa putkikokoa pumpulle, mikäli virtaama tiedetään.	1	Toissijainen, lisätään ohjeistusta
Ilmanvaihdon ylipaineen poistopeltien mitoitus	1	
Käyttövesijohtojen runkojen mitoitus vesikalusteiden perusteella	1	
Max. Yhtäaikainen tehontarve sähkökeskuksissa	1	
Panospuhdistamon mitoitus?	1	
Putkien materiaaliuutokset kesken linjan? Miten vaikuttaa kokoon yms.	1	
LVI-laitteiden kanavien putkien eristykset?	1	
Väestönsuojan LVI?	1	
Raitisilma ja jäteilman ulkosäleiköt? Kuinka paljon suurempi kuin itse kanava?	1	
Öljykattilan mitoitus, muut kattilat?	1	
Vesikatolla olevien laitteiden etäisyydet?	1	
Off Topic; MagiCad yleispätevät projektitiedostot, jota kaikki käyttäisivät (kiinteät tunnuksat päätelaitteille, verkostoille yms.)	1	Toimenpidelistalle, ei liity ohjelmistokehitysprojehtiin
Off Topic; yhtenäiset dimensiotehtit, jotka kaikilla käytössä	1	
Off Topic; piirustusten esitystapojen yhtenäistäminen	1	

Tilakohtainen tietojensyöttölomake

Lisättävän tilan tiedot

Tilan numero: 007

Tilatyyppi: Sähkötila

Tilan nimi: 10 kV Sähkötila

Kerros: 2 Oletuskorkeus: 2200 mm

Pinta-ala: 50 m² AUTOCAD Tilavuus: 110 m³ AUTOCAD

Kerroskorkeus: 2200 mm ☒ Kerroksen oletus

Lämpötila max: 26 °C ☐ Rakennuksen oletus

Lämpötila min: 20 °C ☒ Rakennuksen oletus

Paineenkesto: 500 Pa ☐ Rakennuksen oletus

Rakenne: Paroc elementti

Sisäiset lämpökuormat: 17,8 kW

Ulkoiset lämpökuormat: 2,4 kW

Lämpökuormat yhteensä: 20,2 kW

Excel VALMIS

TOIMITUSKÄSIKIRJA
MAATTI KALLANEN



INSINÖÖRITOIMISTO
MATTI HALLASAARI

Sähkötilojen laskelmat

Tulostettu 4.4.2017

Tilakohtaisten laskentataulukoiden tuloste

006 Sähkötila									
Kerros: 2									
Pinta-ala	500	(m²)	Huonekorkeus	2200	(mm)	Tilavuus	1100	(m³)	
Sähkötila	1	#	Paineistuskerroin	1	(1/h)	Ratistilma	306	(l/s)	
Sisälämpötila	25	max, (°C)	Sisäänpuhallus	+15	min, (°C)	Delta T	10	(°C)	
Sisäiset kuormat	25	(kW)	Ulkoiset	1,7	(kW)	Lämpökuormat	26,7	tot, (kW)	
Sisälämpötila, min	20	(°C)	Paineenkesto	800	(Pa)	Lämpöhäviöt	3	(kW)	
Ylip. jäähdytykseen	50%		Jäähd. Varmennus	50%	(2x)	Erillispoisto	0	(l/s)	~
Kiertoilma tulo	1036	(l/s, KsK1)	Kiertoilma tulo	1036	(l/s, KsK2)	Tuiloilma	2378	(l/s)	
Kiertoilma poisio	1036	(l/s, KsK1)	Kiertoilma poisio	1036	(l/s, KsK2)	Poistoilma	2072	(l/s)	
Tuiloilma, talvi	21,2	(°C)							

007 Automaatioilma									
Kerros: 3									
Pinta-ala	350	(m²)	Huonekorkeus	2300	(mm)	Tilavuus	805	(m³)	
Sähkötila	1	#	Paineistuskerroin	2	(1/h)	Ratistilma	447	(l/s)	
Sisälämpötila	24	max, (°C)	Sisäänpuhallus	+15	min, (°C)	Delta T	9	(°C)	
Sisäiset kuormat	35	(kW)	Ulkoiset	3,4	(kW)	Lämpökuormat	38,4	tot, (kW)	
Sisälämpötila, min	21	(°C)	Paineenkesto	700	(Pa)	Lämpöhäviöt	3	(kW)	
Ylip. jäähdytykseen	50%		Jäähd. Varmennus	100 %	(2x)	Erillispoisto	0	(l/s)	~
Kiertoilma tulo	1666	(l/s, KsK1)	Kiertoilma tulo	1666	(l/s, KsK2)	Tuiloilma	3779	(l/s)	
Kiertoilma poisio	1666	(l/s, KsK1)	Kiertoilma poisio	1666	(l/s, KsK2)	Poistoilma	3332	(l/s)	
Tuiloilma, talvi	21,8	(°C)							

Insinööritoimisto Matti Hallasaari Oy
Y-tunnus 0550682-8
www.hallasaari.com
M:\Hdme\Matti\YAMK\OPINNÄYTETYÖ1-OHJELMA\Sähkötilat.xlsm

Kumpulantie 1 * 00520 HELSINKI * FINLAND
puh. +358-9-142 122
etunimi.sukunimi@hallasaari.com